B. KUZNETSOV

FILOSOFIA DEL OPTIMISMO

Progreso. Problemas actuales

B. Kuznetsov

Filosofía del optimismo

Editorial Progreso

Moscú

Traducido del ruso por O. Razinkov

Б. Кузнецов
ФИЛОСОФИЯ ОПТИМИЗМА
На испанском языке

© Издательство «Прогресс», 1978
© Traducción al español con modificaciones
Editorial Progreso
1978

Impreso en la URSS

К $\frac{10502—819}{014(01)—78}$ 272—78

I

OPTIMISMO GNOSEOLOGICO

¡COGNOSCEMUS!

En antiguas leyendas épicas rusas encontramos a menudo la imagen del héroe en una encrucijada, pensativo ante esta inscripción: "Si vas a la derecha... si vas a la izquierda...", que le vaticina infortunios en un camino y buena suerte en el otro. Actualmente, la humanidad se halla en una encrucijada semejante. Una "parte de la inscripción" predice la guerra atómica y la muerte de la civilización por el camino elegido. Esta "parte" comprende infinidad de documentos, investigaciones y novelas (por ejemplo, la novela escrita en 1957 por Nevil Shute sobre la muerte de la humanidad a consecuencia de la supuesta guerra atómica de 1962-1963). La otra "parte de la inscripción", la optimista, habla del inusitado auge de la cultura y bienestar del hombre, de la considerable prolongación de su vida, la supresión de las enfermedades y el ascenso sin precedentes del nivel intelectual y moral. Señalemos que también aquí el laconismo de la leyenda se sustituye con un volumen increíble de información. En el pronóstico optimista figuran numerosos géneros; las síntesis filosóficas y sociológicas alternan con las curvas económicas, dibujos de aparatos y fórmulas físicas... Pero existe una

particularidad más que distingue el actual pronóstico optimista no sólo del augurio legendario, sino también de innumerables intentos anteriores de imaginarse el futuro de la humanidad. Tanto en su parte optimista como en la pesimista, el pronóstico contemporáneo se expone en forma que la gramática inglesa llama *open condition:* este pronóstico no es unívoco ni fatalista, y los acontecimientos pronosticados se producirán, si la humanidad los prepara ya ahora, emprendiendo las acciones necesarias que formen las condiciones iniciales conducentes a una u otra perspectiva. El pronóstico es punto de partida de la planificación realizadora de aquellas condiciones iniciales que dan el pronóstico óptimo, la pauta óptima de desarrollo. Por eso, la época contemporánea se diferencia del pasado no sólo por que la gente piensa más en el futuro, y el pensamiento de los hombres adquiere como nunca cada vez más el carácter de pronóstico. Hoy en día, a diferencia del pasado, las ideas sobre el futuro, sobre los destinos integrales del mundo, se han convertido en elementos necesarios de la actuación racional del hombre; se opera la fusión de los conceptos de plan e ideal y, respectivamente, el concepto de optimismo – la síntesis de lo que debe ser y lo que es, el coeficiente de la correlación entre lo que debe ser y lo que es– evoluciona de la emoción a la voluntad. Y no sólo a la voluntad, sino también al conocimiento, a las comprobaciones de lo que es y al descubrimiento en lo existente de los rasgos de lo conducente a lo debido.

Siendo así, el optimismo no pierde en lo más mínimo su naturaleza emocional. No desaparece la sensación de alegría optimista. Por el contrario, el aspecto emocional del optimismo deviene más complejo, profundo y rico. No es sólo la espera de lo mejor, sino también la seguridad en su condicionamiento causal. La comprobación de tal condicionamiento o, en otros términos, el desarrollo de la ciencia es ya inseparable del auge emocional.

La ciencia va al encuentro de las emociones. La misma ciencia que dio vida a la energética atómica, la electrónica cuántica y la biología molecular es incomparablemente más

emocional que antes. La misma ciencia no clásica, que, hablando con propiedad, fue la que condujo a la humanidad a la encrucijada: "Si vas a la derecha... si vas a la izquierda". La ciencia no clásica –teoría de la relatividad, mecánica cuántica y todo lo que ha crecido de ellas– demuestra en forma evidente y precisa la unidad de los ideales científicos, morales y estéticos. El valor del conocimiento, o sea, su influjo sobre la vida de los hombres y su efecto económico, social, cultural, moral y estético, es ya elemento imprescindible de su desarrollo. En este sentido, el siglo atómico es el siglo de la fusión de los criterios de la verdad y el valor. La cosmovisión sintética, en la cual la verdad es inseparable de los ideales morales y estéticos, se convierte en condición necesaria del progreso científico, social y económico.

La filosofía del optimismo comienza por el optimismo referido a la filosofía misma, por la comprobación de la inmortalidad de la filosofía y el descubrimiento de las invariantes cuya existencia constituye el otro aspecto de la conservación, en el presente caso, de un determinado torrente general del conocimiento, de cierto cuadro único del mundo que evoluciona en sus principios y el hombre dentro de él. Comienza también por comprobar el valor de tal cuadro.

El problema de la posibilidad misma de la existencia de una filosofía que se desarrolle históricamente venía debatiéndose desde tiempos remotos. El "teorema de existencia" de la historia de la filosofía no era simple. La filosofía debe ser verídica, pero la verdad es una sóla y, quedándose verdad, no puede cambiar. Así pues, al parecer, los conceptos "filosofía" e "historia" se excluyen mutuamente. En efecto, en el marco de la filosofía dogmática, cada escuela veía cierta evolución tras sí: una historia de extravíos a través de los cuales se abría paso la verdad, al fin encontrada en el sistema dado y que dejaba al futuro únicamente el pulir los detalles y coleccionar argumentos. La filosofía de Kant continuaba siendo dogmática al negarles sentido a las preguntas cuyas respuestas constituían el contenido de la concepción del mundo, que se desarrollaba históricamente. El sistema

filosófico de Hegel incluye la historia, pero no así los pronósticos. El autoconocimiento del espíritu absoluto termina la transformación radical del conocimiento y de su objeto. La filosofía dialéctica, que estudia el conocimiento como reflejo –en proceso de desarrollo histórico– del ser inagotable que se desarrolla infinitamente, incluye en la filosofía no sólo su historia, sino también su evolución, que por principio es infinita, sus perspectivas, su "futurología".

¿Significa esto que la filosofía carece de contenido invariable, perdurable? No, el propio concepto de cambio pierde sentido sin la comprobación del sujeto de los cambios históricamente invariable e idéntico. ¿Cuáles son, pues, las invariantes de la filosofía?

Ante todo, son las colisiones del ser, el conocimiento y el valor. Colisión del ser son la inseparabilidad del carácter discreto y la continuidad, la inseparabilidad del "ser existente-aquí-y-ahora", finito y local, y el "ser fuera de -aquí-y-ahora", infinito. Colisión del conocimiento es la inseparabilidad del conocimiento empírico y racional del mundo. Colisión del valor es la colisión axiológica de lo que es y lo que debe ser, de la cual se tratará más adelante. La filosofía y la ciencia resuelven y a la vez conservan estas colisiones, dejándolas para el futuro y viendo su inmortalidad en este carácter invariable. Pero en cuanto a la filosofía, el optimismo no se limita a tal certidumbre. Ve las fuentes de las colisiones filosóficas en las colisiones objetivas del mundo, y la fuente de la solución de los problemas filosóficos, en el conocimento del mundo objetivo, inseparable de su transformación. Esta transformación del mundo es la base del valor de la filosofía. La certidumbre en la inmortalidad y en el valor de la filosofía se apoya en la seguridad en la inmortalidad y en el valor del mundo, en la posibilidad de conocerlo y transformarlo, en la posibilidad de objetivar los ideales del hombre como resultado de este conocimiento y transformación. Así pues, el optimismo referido a la filosofía dimana del optimismo referido a su objeto, al mundo. El valor del conocimiento dimana del conocimiento del valor. La idea de partida del optimismo con-

temporáneo, vinculado con la ciencia moderna y el pronóstico de su efecto económico, ecológico, social, moral y estético, consiste en que en el propio mundo existe cierto ordenamiento, la *ratio* objetiva, el valor objetivo. El conocimiento de esta estructura racional del mundo, concebible por la razón, el conocimiento de su valor objetivo, es precisamente la base del valor del conocimiento, la base del efecto de la ciencia, de la transformación del mundo y de la realización de los ideales del hombre.

El optimismo gnoseológico, que brota de la comprobación del ordenamiento y la cognoscibilidad del mundo, es condición y factor del aceleramiento del progreso científico y técnico. Este papel lo desempeña actualmente el optimismo gnoseológico *dinámico:* la idea del conocimiento, transformación, precisión y concretación –infinitos y no limitados por fronteras absolutas algunas– de las representaciones fidedignas sobre el mundo, la idea de la transformación de las representaciones más fundamentales.

La ciencia y la filosofía clásicas dieron ya una fundamentación muy profunda y notable al optimismo gnoseológico. Hegel expuso los argumentos teóricos decisivos contra el agnosticismo, y la ciencia de los siglos XVIII y XIX aplicó en la práctica principios gnoseológicos que excluían el pesimismo agnóstico. A fines del siglo XIX existía ya la filosofía dialéctica de la ciencia que sintetizó no sólo los resultados de ésta, sino también su dinámica, movimiento y transformación. Pero en los tiempos clásicos, la transformación de los principios fundamentales de la ciencia era apenas esporádica, repitiéndose raras veces en vida de una generación, y las conclusiones sobre el desarrollo infinito e ilimitado de la ciencia podían deducirse sólo a un nivel muy alto de abstracción.

La ciencia no clásica se desarrolla de manera distinta. En ella, la revisión de los principios fundamentales no es sólo fondo permanente, sino también condición y parte integrante del progreso ininterrumpido de las representaciones sobre el mundo y de la transformación de toda la civilización a base de estas nuevas representaciones.

En la ciencia no clásica cada paso concreto e importante de las investigaciones básicas demuestra el carácter ilimitado del progreso científico, la ausencia de fronteras del conocimiento. Su carencia dejó de ser un problema abstracto, alejado del contenido y ritmo actuales del progreso científico. El carácter infinito del progreso se convirtió en *lo infinito auténtico* tal como lo concebía Hegel, reflejado en cada eslabón finito y adquirió sentido local. No se trata de que el progreso científico termine o no dentro de miles de millones de años, sino de una cosa distinta: si existen o no en la ciencia problemas insolubles por principio o resueltos definitivamente, vinculados con su desarrollo actual, con sus tendencias actuales, con sus pasos locales y con sus episodios locales. Aquí, quizás, conviene trazar una analogía con la demostración local del carácter ilimitado e infinito del espacio universal. En otros tiempos, el problema de la infinitud y finitud del mundo no admitía solución basada en comprobaciones locales, referentes a un punto dado del espacio. Sin embargo, en 1854, Bernhard Riemann señaló que el problema podía ser resuelto en el plano local: si el espacio circundante posee una curvatura positiva, es finito; si el espacio posee una curvatura nula o negativa, es infinito. Esta analogía no pretende ser más que una simple explicación de la situación actual, cuando el estilo de la ciencia y el cambio constante y, en el fondo, ininterrumpido, de sus ideales convierte la presunción del progreso infinito y el optimismo gnoseológico en una conclusión directa, dimanante del desarrollo mismo de la ciencia y, a menudo, en una condición y estímulo de tal desarrollo. La ciencia no clásica, sin crear ni descubrir el optimismo gnoseológico, lo hizo bien evidente y, más aún, lo convirtió en parte integrante del optimismo tecnocientífico, económico y social.

Detengámonos en una forma relativamente particular y estrecha del pesimismo gnoseológico, forma que éste recibió en 1872 en el discurso de Emil Du Bois-Reymond sobre los límites del conocimiento. El orador exteriorizó su famoso exorcismo: "Ignorabis!" (ignoramos) y, más adelante, "Igno-

rabimus!" (ignoraremos). Ignoraremos la naturaleza de las cosas (*rerum natura*). ¿Cuál es la naturaleza del átomo? ¿Cuál es, pregunta Du Bois-Reymond, la naturaleza de la sensación? Y contesta que lo ignoramos e ignoraremos.

Esta concepción se desprende de una determinada representación sobre la naturaleza del conocimiento. Para Du Bois-Reymond, el progreso de la ciencia consiste en descubrir la base mecánica de los fenómenos: situaciones, velocidades y aceleraciones de los cuerpos, o sea, en descubrir la conducta de los cuerpos y las fuerzas que, a su vez, se determinan por las situaciones y velocidades de los mismos. Así pues, la cosa se reduce a dos problemas, expuestos por Newton en su obra *Principios matemáticos de la filosofía natural:* a determinar la situación de los cuerpos por las fuerzas y las fuerzas, por la situación de los cuerpos. El desarrollo de la ciencia agregó a estos problemas la determinación de las fuerzas por la velocidad, pues resultó que las fuerzas dependían del movimiento de los cuerpos. Tal determinación conduce al cuadro mecánico del mundo, donde no hay nada excepto los cuerpos en movimiento y sus interacciones, o sea, las fuerzas. Pero los movimientos e interacciones de las partículas no pueden explicar qué es la partícula.

La ciencia clásica y la filosofía clásica (puesto que ella sintetizaba la *dinámica* de la ciencia) salieron de este atolladero pesimista. Ya en el siglo XIX, el sentido del conocimiento no se reducía a descubrir los movimientos e interacciones de los cuerpos como explicación máxima de la *rerum natura.* La ciencia no clásica fue más lejos. No sólo revisó, limitó y, en general, rechazó la representación sobre el conocimiento como reducción de los procesos de la naturaleza a la conducta de los elementos simples, sino que atribuyó a éstos una naturaleza infinitamente compleja. La partícula posee una contradictoria naturaleza corposcular-ondulatoria. Esta tesis de partida de la mecánica cuántica no es más que un comienzo del paso ulterior a la idea cada vez más compleja del mundo. Para la ciencia no clásica son sumamente característicos los intentos actuales de constituir las partículas elementales de

partículas que poseen una masa mucho mayor o de presentar la existencia misma de las partículas como resultado de su interacción. Sea cual fuere la suerte de las hipótesis concretas, la tendencia general de la física no clásica consiste en presentar la partícula como un reflejo infinitamente complicado del mundo infinitamente complicado.

Esta tendencia rebasa radicalmente el marco del cuadro del mundo, donde la existencia de la partícula se reduce a su conducta. Se puede demostrar que en semejante reducción radica, precisamente, la colisión de la ciencia clásica, cuya absolutización condujo a Du Bois-Reymond a su *"Ignorabimus"*.

He aquí el curso del pensamiento de Du Bois-Reymond. Estudia el ideal de la explicación mecánica del mundo, o sea, la razón suprema laplaceana, que conoce la situación y las velocidades de todas las partículas del Universo y puede predecir todo su futuro hasta el día en que en el Templo de Santa Sofía –en Estambul– se erigirá una cruz. Pero Du Bois-Reymond pregunta si esto significa que la ciencia se aproxima a responder la pregunta: "¿Qué es la partícula?"

Es una dificultad muy vieja para la noción mecanicista clásica del mundo. Descartes expresó esta representación en forma muy acabada, acercándose así a su límite. Separó el cuerpo del medio ambiente, atribuyéndole únicamente la conducta, sólo el movimiento que, según él, determina la existencia del cuerpo, lo individualiza y lo distingue del espacio circundante. Pero ¿qué es lo que se mueve, lo que constituye el sujeto del movimiento? O, enfocando el problema en el aspecto atomístico, ¿qué es el átomo? Tanto Descartes como Newton y toda la ciencia clásica dejaban semejantes interrogantes al margen de las ciencias naturales, trasladándolos de la física a la metafísica. Sólo Espinosa declaró que no existía otra realidad excepto la extendida, ni otro mundo que no fuese el mundo físico, sujeto por principio a explicación científica. Pero la ciencia propiamente, la ciencia vinculada con el experimento y el análisis matemático, no considera-

ba el problema del *sujeto* en las comprobaciones de "el cuerpo se mueve" y por mucho que se acercase el cuadro del mundo al ideal laplaceano, el problema del sujeto no podía ser resuelto. Así pues, en el marco de la representación mecanicista del mundo no hubo respuesta a las siguientes preguntas: "¿Qué es la partícula?, "¿Qué es lo que la distingue del espacio que ocupa?" y "¿Cuál es la diferencia entre el cuerpo y el lugar?"

Análogo era el problema de las causas de una u otra conducta del cuerpo. La teoría clásica del campo demostró cómo cambiaban las fuerzas y cómo dependían del emplazamiento de las fuentes, de su movimiento y del cambio de otras fuerzas (las eléctricas de las magnéticas, y viceversa), pero no se acercó a la respuesta de qué era la fuerza. La teoría del éter tampoco dio respuesta, pues hablaba de los movimientos del éter y reducía las fuerzas de gravitación y eléctricas a impulsos del éter, pero el impulso inmediato explicaba la sustancia de la fuerza tan poco como la acción a distancia.

El segundo fundamento para "*Ignorabimus*!" era la imposibilidad de obtener la definición del pensamiento e incluso del acto síquico primario (sensación), por mucho que se conociese el movimiento de los átomos componentes del cerebro. Admitamos que tenemos ante nosotros el cuadro de los movimientos moleculares en el cerebro. ¿Significa esto que nos acercamos a la definición de la sensación y el pensamiento en su diferencia del movimiento de la materia? No franqueamos este umbral y, a juzgar por todo, no lo franquearemos, pues aquí, como en el caso de los átomos y las fuerzas, todo pormenor del movimiento de los átomos, vinculado con los actos síquicos, no pone de manifiesto la diferencia sustancial entre la sensación y el movimiento. A juicio de Du Bois-Reymond, en este caso, otra vez, no se trata sólo de "*Ignorabis*!", sino también de "*Ignorabimus*!".

La mayoría de los críticos de Du Bois-Reymond negaban los límites del conocimiento basándose en que la descripción de la conducta de los átomos era precisamente la explicación de su naturaleza, mientras que la descripción de la conducta

de los átomos del cerebro constituía el ideal de la *explicación* de la vida física a partir de la sensación. Era una crítica desde posiciones mecanicistas, pues en este caso por esencia de la cosa se toma lo que se manifiesta en sus acciones.

La afirmación de que *rerum natura*, la sustancia, o la esencia de las cosas, *se reducía* al traslado de átomos estaba en pugna con la teoría del conocimiento, que había crecido de la generalización de la evolución de la ciencia, de su movimiento progresivo y su transformación. Los descubrimientos más importantes de las ciencias naturales del siglo XIX demostraron que la razón omniscia laplaceana, además de no ser capaz de conocer la existencia de los átomos en su diferencia del espacio, tampoco podría conocer el movimiento mismo, pues éste comprende la viva contradicción entre la reductibilidad e irreductibilidad de las formas superiores del movimiento a desplazamientos elementales de átomos. Du Bois-Reymond dice que la razón laplaceana, conociendo las situaciones y velocidades de todas las partículas del Universo, no habría podido comprender la esencia del átomo y la esencia del pensamiento. Pero, al reducir el cuadro del mundo al desplazamiento de átomos, tampoco habría podido explicar varias leyes del mundo que evidentemente no se encuentran al margen del conocimiento. La razón laplaceana, conociendo las situaciones y velocidades de los átomos, no habría podido comprender las causas sociales, políticas y militares de los acontecimientos, incluyendo la sustitución de la media luna en Hagia Sofia por una cruz, incluso si hubiera resuelto todas las ecuaciones diferenciales referentes al movimiento de las partículas que formaban la media luna, la cruz y los organismos de los hombres que efectuaron la sustitución. Pero esto no es todo. La razón laplaceana, con su mecánica de los átomos, no habría podido comprender la esencia de la entropía, la esencia de los procesos irreversibles de la termodinámica; la naturaleza del simple hecho de que el calor no pasa de un cuerpo frío a uno caliente. La entropía no existe en la mecánica del átomo. Ella aparece tan sólo en los conjuntos estadísticos de moléculas, demostrando la *irre-*

ductibilidad de las formas más complejas de movimiento, en el presente caso, del calor, a la forma más simple: la mecánica del átomo. La dialéctica, como teoría del conocimiento, cambia la definición misma del conocimiento. Este no tiene límites no porque sea capaz de abarcar en el momento dado toda la profundidad y la complejidad infinita de la sustancia, reduciéndola al movimiento de los átomos. El conocimiento es ilimitado e infinito no en el sentido de la infinitud actual, sino en un sentido distinto: es infinito en potencia, y la ausencia de fronteras absolutas significa precisamente tal infinitud. El conocimiento infinito es un proceso que revela la inseparabilidad entre las formas del movimiento y las formas más elementales y, al mismo tiempo, la irreductibilidad de las primeras a estas últimas. En este sentido, los "límites del conocimiento" resultan ser límites de leyes específicas que se ven sustituidas por otras leyes típicas de formas distintas del movimiento. Estos *límites* particulares son *transiciones* de las leyes relativamente simples a las más complejas, de los procesos elementales a los procesos cada vez más concretos y contradictorios.

La ciencia del siglo XIX entendía por procesos elementales el movimiento de los átomos subordinado a las leyes de Newton. Pero a principios del siglo XX, la ciencia tropezó con un nuevo e inesperado límite, que también era relativo, constituyendo una nueva transición. Mas no era ya un límite particular, sino *general* del conocimiento, que reducía el cuadro del mundo al desplazamiento de los átomos, subordinado a la mecánica newtoniana. El límite general se manifestó en hechos que contradecían a dicha mecánica, al principio de que la masa no dependía del movimiento y de la continuidad del campo. En la ciencia clásica los procesos complejos no se reducían a procesos elementales, pero la existencia misma de estos últimos no se ponía en tela de juicio, como tampoco sus leyes clásicas. Y ocurrió que estas leyes eran aproximadas.

Los límites particulares constituían la base de la clasificación de la ciencia y los límites generales, la base de su periodización. Terminó la época clásica en la ciencia, iniciándose

una época nueva. No se trata sólo de que resultase imprecisa la mecánica newtoniana: teoría de los procesos elementales en el cuadro clásico del mundo. Devino muy convencional el concepto mismo de procesos elementales. En el cuadro contemporáneo del mundo los procesos y los objetos a los cuales atribuyen carácter elemental son, quizás, los más complejos, más mediatos, que exigen para la explicación apelar a la estructura infinitamente compleja del mundo en conjunto.

G. Chew, al anunciar la "crisis del concepto de elementarismo" expresó una de las particularidades características de la ciencia no clásica. Se refería a la concepción concreta, al hecho de que la existencia de cierta especie de partículas depende de su interacción, pero, en el fondo, la "crisis del elementarismo" y la renuncia a reducir a procesos y objetos elementales, simples, caracteriza la ciencia no clásica en conjunto, independientemente del destino de las concepciones físicas concretas.

Actualmente, la partícula "elemental" es, quizás, el objeto físico más complejo, y la complicación de las representaciones físicas, una característica gnoseológica muy general. La representación contemporánea sobre el conocimiento se diferencia radicalmente de la concepción del conocimiento concluido o bien con el *"Ignorabimus"* absoluto o bien con la comprensión absoluta del mundo. Dicha representación se diferencia de esta imagen *non plus ultra* de igual manera que la dinámica de los tiempos nuevos se diferencia de la cosmología aristotélica en la cual los "movimientos naturales" de los cuerpos terminaban en los "lugares naturales" de estos cuerpos.

Este optimismo dinámico del conocimiento, esta concepción de su infinitud consustancial, este valor decisivo de los criterios diferenciales, de la velocidad y la aceleración de la ciencia, que remplazaron la ilusión del ideal gnoseológico realizado y acabado, constituyen, como procuraremos demostrar, la fuente de la influencia dinámica de la ciencia no clásica moderna sobre la civilización, la base del optimismo dinámico tecnocientífico y económico.

La ciencia no clásica niega no sólo las representaciones concluyentes y finitas, sino también las normas y métodos de conocimiento dados de antemano para siempre. La ciencia no clásica transgredió los principios físicos más fundamentales, los principios geométricos y lógicos. La teoría de la relatividad atribuyó contenido físico a la geometría no euclidiana. La mecánica cuántica hizo las normas lógicas físicamente sustanciales y, por ende, móviles y dependientes del experimento. El conocimiento se despojó de todos los límites absolutos. Se despojó de lo absoluto ontológico: del espacio absoluto, el tiempo absoluto y los "ladrillos del Universo" elementales y autónomos en su ser. Se despojó de los límites gnoseológicos: de la ficción del conocimiento acabado y las normas matemáticas y lógicas absolutas, que pretenden tener carácter apriorístico. Pero ¿es el conocimiento infinito un pronóstico optimista?

En *Historia de literatura científica en nuevas lenguas*, Leonardo Olschki dice: "Para quienes estaban acostumbrados a mirar el fondo de las cosas, Galileo descubrió un enigma mundial insoluble y una ciencia infinitamente extendida en el tiempo y el espacio, ciencia cuyo carácter ilimitado debería traer aparejados un sentimiento y comprensión de la soledad e impotencia humanas"[1]. En el complejo efecto emocional de la revolución científica del siglo XVII (lo mismo que en el efecto emocional más complejo aún de la ciencia no clásica moderna) no podía menos de sonar también la nota de sensación de soledad e impotencia. Y sonó en realidad, por ejemplo, en Pascal. Sin embargo, el efecto emocional definitivo de las transformaciones científicas, que liberan de límites y categorías absolutas al conocimiento, es distinto y opuesto en medida considerable. Es un efecto optimista.

El epíteto "optimista" ha adquirido en nuestro libro no un sentido emocional, en todo caso, no sólo emocional, pues está vinculado con los *objetivos* de la ciencia y significa la

---

[1] L. Olschki. *Geschichte der neusprachlichen wissenschaftlichen Literatur*. Bd. 3. *Galilei and saine Zeit*. Halle (Saale), 1927, S. 118-119.

correlación entre el pronóstico y el objetivo que ella se plantea actualmente. A los objetivos de la ciencia se dedicará otro ensayo de esta obra. Ahora conviene señalar lo siguiente. El objetivo de la ciencia clásica era a menudo el ideal del conocimiento acabado. Hablando con propiedad, lo inaccesible de este ideal, considerado como límite absoluto de la ciencia, constituyó precisamente la fundamentación del *"Ignorabimus"* pesimista, que completó la comprobación local de *"Ignoramus"*. Ahora, el objetivo de la ciencia descansa sobre sus criterios diferenciales. No se plantea el objetivo de alcanzar la verdad definitiva, sino de avanzar con la mayor rapidez y eficacia posibles hacia la verdad. Veremos que esta particularidad de la ciencia no clásica determina su efecto económico. Pero en este momento no vamos a apartarnos del problema del optimismo gnoseológico, que se opone tanto a *"Ignoramus"* como a *"Ignorabimus"*. En cuanto a *"Ignoramus"*, la comprobación de los problemas irresueltos es inseparable hoy de la comprobación positiva, de *"cognoscimus"* (conocemos). Este *"cognoscimus"* tiene un sentido diferencial. No se trata sólo de la información obtenida, sino también de los nuevos métodos teóricos y experimentales para seguir obteniendo información y acelerar este proceso del surgimiento de nuevos problemas y estímulos de la actividad científica. El *"Ignoramus"* es inseparable actualmente del *"cognoscimus"* y del *"cognoscemus"* (conoceremos).

Desde el punto de vista contemporáneo, la ilusión clásica del carácter acabado del conocimiento parece una concepción pesimista, pues constituye una comprobación negativa: la explicación no va más allá, pues en este caso pierde sentido. Aquí tropezamos con un enroque muy curioso de los conceptos de pesimismo y optimismo.

Este enroque consiste en lo siguiente.

Para la explicación dogmática (digamos, en forma más general, para el *raciocinio* de la ciencia) la fuente del optimismo es el logro de la explicación definitiva o la esperanza de lograrla. Para la explicación dinámica (para la *razón* de la ciencia) la perspectiva de la solución definitiva, cuándo

se acaban los "¿por qué?", cuándo desaparece la pauta inquieta, interrogadora de la ciencia, será una perspectiva pesimista, un pronóstico pesimista. Y, al contrario, la inquietud, el carácter no acabado y la perspectiva de una serie interminable de nuevas interrogantes constituyen la fuente del optimismo.

¿Por qué son oportunos aquí los términos "raciocinio" y "razón" de la ciencia? La delimitación tradicional del raciocinio y la razón atribuye al primero el conocimiento de lo finito, y a la segunda el conocimiento de lo infinito. El progreso efectivo de la ciencia es imposible sin una síntesis de las leyes *del raciocinio* que explican el fenómeno dado, y la presunción *razonable* del conocimiento ulterior del mundo, conocimiento infinito en potencia. En la época no clásica el acompañamiento interrogador, "razonable", de la melodía positiva, tranquilizadora, del progreso científico que entona el "raciocinio" empieza a sonar muy alto, pero no ahoga la melodía positiva, sino que se funde con ella. Actualmente *cada* respuesta particular es, al mismo tiempo, una pregunta dirigida a toda la cadena de explicaciones científicas. Recordemos la respuesta de Einstein a la cuestión planteada por el experimento de Michelson. Esta respuesta consiste en apelar a los principios más generales, a la naturaleza del espacio y el tiempo, a lo que parecía punto de partida no sujeto al análisis sucesivo, a lo que Kant consideraba apriorístico. Pero la concepción einsteiniana negó carácter apriorístico al espacio y el tiempo. Negó este título incluso a los axiomas geométricos. Estos axiomas mismos son mediatos y la explicación física de la geometría del mundo se extiende a lo lejos a una serie interminable de nuevas y nuevas comprobaciones físicas. En la teoría de la relatividad el carácter infinito del conocimiento está presente en cada eslabón local, finito, concreto en la explicación de determinados resultados del experimento. Volvemos a recordar involuntariamente la idea de Riemann sobre el reflejo local del carácter ilimitado del espacio.

Tal reflejo, precisamente, crea en la ciencia una cadena

ininterrumpida de interrogantes dirigidos al futuro, de colisiones irresueltas, de pronósticos y esperas; de esa cadena se ha tratado ya más arriba y se denota con particular relieve en la ciencia moderna, no clásica. Por su mismo carácter dicha cadena está ligada más íntimamente con el componente emocional de la ciencia y, en particular, con el optimismo en su aspecto sicológico, con cierto conjunto de emociones y sentimientos.

Este optimismo, vinculado con el componente interrogador y vuelto hacia lo infinito de la actividad científica, no es rectilíneo ni unicolor, ni mucho menos; comprende asimismo la tristeza por los valores clásicos que se destruyen; pero no es tristeza trágica (como en Lorentz, que sentía pena de no morir antes del derrumbamiento de la física clásica), sino resignadamente lírica. Y comprende también la satisfacción por la indestructibilidad de los valores clásicos.

Para mostrar más concreta y claramente el nexo del optimismo contemporáneo con la dinámica de la ciencia y la transformación ineludible de las representaciones más fundamentales conviene abundar en el destino de las categorías absolutas más generales y estables de la ciencia clásica. Entre ellas figuran el espacio absoluto, que existe independientemente de los cuerpos sumergidos en él y tiene propiedades geométricas invariables y no sujetas a análisis ulterior; el tiempo absoluto, que corre sin depender de los procesos físicos; los "ladrillos del Universo" inmutables y carentes de estructura interior, y, por último, las leyes universales del ser aplicables a todos los dominios, a todas las series de fenómenos.

Todas estas categorías absolutas desempeñaban el papel de límites del conocimiento. El espacio absoluto y el tiempo absoluto explican el curso de los procesos físicos, sin depender de nada, entre tanto en ellos se interrumpe el análisis causal, ininterrumpido por su esencia.

La deducción de la extensión valiéndose de la sustancia inextensa (Leibnitz) o la representación kantiana sobre el espacio y el tiempo como formas subjetivas apriorísticas del

conocimiento también rompen la cadena de causas propiamente físicas; en el fondo, también aquí, ante el conocimiento físico, causal, científico, se levanta un muro metafísico.

La siguiente categoría absoluta son los "ladrillos del Universo". La atomística clásica o bien atribuía a los átomos una homogeneidad absoluta o bien, operando con partículas complejas y cualitativamente diferentes, veía en los átomos verdaderamente elementales, simples y homogéneos, el ideal de la explicación científica. La atomística clásica jamás abandonó la esperanza de alcanzar este ideal, y ello era en los tiempos clásicos una perspectiva optimista, un pronóstico del conocimiento absoluto, acabado.

Huelga decir que el átomo puntual no extendido de Boscovich o Wolff carece de estructura interna. Pero esta última tampoco existe en el átomo extendido "definitivo", homogéneo y carente de cualidad, en el que terminaba o procuraba terminar el análisis científico-causal del espacio-tiempo. Tal análisis, pasando por los eslabones mayores de la jerarquía de las partes discretas de la sustancia a los menores, se remitía, al explicar las propiedades del sistema, a su estructura interna, a la existencia de sistemas menores; las propiedades cualitativas de la partícula se las explicaba con el emplazamiento y el movimiento de las subpartículas. El último eslabón de la jerarquía podía ser una partícula carente de cualidad y compuesta de sustancia homogénea. En ello terminaba también el análisis causal del espacio-tiempo.

El fin, límite y súmmum de tal análisis eran asimismo las leyes eternas del ser. El conocimiento incluía, en principio, un número infinito de fenómenos en los esquemas supeditados a estas leyes, pero las propias leyes quedaban independientes de tal inclusión. Y cuando se las quería deducir de algo distinto y hacerlas mediatas, secundarias, respecto de principios más generales y fundamentales, el pensamiento clásico se retiraba a las esferas metafísicas, abandonando el campo de la investigación causal. El análisis científico concluía aquí, cualesquiera que fuesen la explicación de las leyes eternas en el marco de la filosofía clásica y el objeto de la apelación: el

acuerdo o la providencia. En la ciencia clásica, cuando se opuso a la metafísica, las leyes eternas se consideraban como resultado de la inducción, como conclusión de las observaciones; tal era, al menos, la posición de Newton. Pero esto significa precisamente que la pregunta "¿por qué?" se separa de las leyes eternas.

Precisamente la homogeneidad e inmutabilidad del espacio y el tiempo absoluto, la homogeneidad e inmutabilidad de los átomos y la homogeneidad, universalidad e inmutabilidad de las leyes eternas del ser, que parecían axiomas newtonianos del movimiento, eran el pilar del optimismo estático "victoriano", de la seguridad tranquila y alegre de que la ciencia, si no había entrado ya, pronto entraría en el puerto del conocimiento acabado en su base. Este "sentido de puerto" es tan característico para el optimismo victoriano como lo es la sensación de salida del puerto y el piélago de la ciencia para el actual optimismo gnoseológico.

En cuanto al optimismo compenetrado del "sentido de puerto", el término "victoriano" es más oportuno que el término "clásico". La ciencia clásica y las particularidades de la cultura y la sicología social del siglo XIX, que dependían del contenido y el estilo de dicha ciencia, no estaban unidas ni mucho menos. No se interrumpió jamás la tradición "interrogadora", dinámica y dirigida al futuro, que era componente necesario del desarrollo de la ciencia. Pero ella, si se permite usar aquí una analogía tan alejada, no ocupó en el parlamento científico los escaños del partido gubernamental y más bien se encontraba en la oposición, manifestándose en la comprobación de las contradicciones, antinomias y carácter lógicamente inacabado del presente de la ciencia. Tales comprobaciones eran, en particular, el pilar de la crítica relativista a la mecánica newtoniana en el siglo XIX. A veces se las llamaba catástrofes (por ejemplo, a fines del siglo XIX, la "catástrofe ultravioleta", de la cual la física fue sacada por la idea de la radiación cuantificada). Se llamaba "victorianas" a las ilusiones de la prosperidad estable difundidas en los largos años del mando de la reina Victoria, con las cuales acabó tan ra-

dicalmente el siglo XX. El optimismo victoriano en la ciencia se apoyaba no tanto en la ausencia como en la preterición de la contradicción y discontinuidad lógica de las categorías absolutas clásicas.

El quid del asunto estriba en que en los tiempos clásicos, la crítica de estas categorías absolutas implicaba un nivel muy alto de abstracción. Al pensar en la infinitud del Universo (estas reflexiones, como señalara con razón Riemann, estaban débilmente vinculadas con los problemas fundamentales de la investigación experimental de la naturaleza), surgían paradojas de las fuerzas infinitas que actúan sobre cada cuerpo en el campo de gravitación de este Universo infinito o del firmamento ígneo continuo, poblado de un sinnúmero de estrellas.

La génesis de la ciencia no clásica estaba vinculada con una situación distinta: las paradojas dimanaban de los experimentos, la ciencia no podía desarrollarse (y más tarde también aplicarse) sin comprobar las paradojas, sin lo que, según Einstein, significaba *fugarse de las paradojas*, o sea, sin trasladar la auréola de lo paradójico de los resultados experimentales a los axiomas generales de la ciencia, sin revisar estos axiomas. La mutabilidad infinita de estos axiomas y la infinitud fundamental del progreso científico empezaron a caracterizar cada episodio local importante del desarrollo de la ciencia (recordemos una vez más la analogía con el problema planteado por Riemann de la infinitud y finitud del espacio que se resuelve por medio de definiciones y experimentos locales).

¿Cuál es el destino de las categorías absolutas clásicas en la ciencia moderna?

El momento más dramático para el espacio y el tiempo absolutos fue la identificación de la curvatura del espacio-tiempo con el campo de gravitación, o sea, la aparición de la teoría de la relatividad. Las propiedades geométricas del espacio, los axiomas de la geometría del mundo ya no dan motivo para que se les atribuya carácter apriorístico o convencional. Adquieren sentido físico, se hacen empíricamente concebibles

y sujetos a la verificación experimental: a la "justificación exterior".

El elementarismo absoluto de los "ladrillos del Universo" también se hizo problemático y convencional. Ahora figura en la física como seudónimo de la transición a un nivel más alto de complejidad. Las partículas elementales de la física moderna poseen propiedades ondulatorias y, a la vez, corpusculares; de ahí dimana una serie de colisiones en extremo paradójicas desde el punto de vista clásico y ante todo la indeterminación o bien de la situación o bien del impulso de la partícula, que depende de las condiciones, del macromundo, de la elección del aparato macroscópico. La complejidad de la partícula no se reduce a la complejidad clásica (existencia de la estructura interna, presencia de subpartículas), sino, al contrario, refleja la complejidad del Universo, y su estructura es estructura de las interacciones exteriores, entrelazadas con la interacción —paradójica ya del todo— de la partícula consigo misma. Más arriba se han mencionado ya las concepciones típicas de la física contemporánea, que explican la existencia de la partícula por su interacción con otras partículas del Universo. La partícula elemental no es el eslabón final del análisis causal, sino el paso a un análisis más complejo, que opera con las comprobaciones paradójicas, convirtiéndolas en conclusiones naturales de las representaciones generales paradójicas del mundo. Así se vio realizada la idea expuesta por Lenin a comienzos del siglo sobre la inagotabilidad del electrón[2]. Se vio realizada asimismo su idea, expuesta a la sazón, sobre el paso del cuadro electromagnético del mundo a un cuadro infinitamente más complejo[3].

La ciencia no clásica limitó e hizo relativo otro motivo más para el "sentido de puerto" victoriano: la idea de las leyes inmutables y eternas. Este sentido lo nutría la idea sobre

---

[2] Véase V. I. Lenin. *Materialismo y empiriocriticismo. Obras Completas*, 5ª ed en ruso, t. 18, pág. 277-278.

[3] Ibid., pág. 296.

la uniformidad del mundo y la identidad de las leyes que rigen el micromundo y el macromundo. La infinitud del Universo, que asustó en otros tiempos a Kepler (él escribió de su temor en una carta a Galileo) y a Pascal (de eso se tratará más adelante), no es tan temible cuando el hombre se entera de que en los espacios infinitos y los campos ultramicroscópicos rigen las mismas leyes y formas habituales del ser.

Existe y ha existido siempre la representación sobre la divisibilidad infinita de la sustancia y la transición infinita a estructuras cada vez más grandes por su escala. Pero esta jerarquía infinita se compone de estructuras del mismo tipo. "Puede ser –decía Briúsov– que estos electrones sean mundos con cinco continentes..." Por otra parte, puede ser que nuestra Galaxia se halle bajo el microscopio de un científico del megamundo que nos observa con ayuda de él y que tiene dimensiones equivalentes a miles y miles de millones de años luz. Este cuadro bastante aburrido expresa la idea de que las leyes del ser son del mismo tipo. La existencia de semejantes leyes es el límite natural del conocimiento. En la ciencia no clásica estas leyes no existen. Aquí figuran las leyes específicas del macromundo y el micromundo. En el siglo XIX se conocía ya la especificidad de estas leyes. Las leyes de la termodinámica son leyes macroscópicas que no actúan en el micromundo, mientras que la mecánica de las moléculas se da de lado cuando se trata de torrentes macroscópicos del calor. Pero en la ciencia no clásica todo esto es más complicado: las transiciones a las leyes macroscópicas no se apoyan en la simple preterición estadística, sino en comprobaciones muy paradójicas. El problema fundamental de nuestro tiempo es el problema del nexo entre las leyes específicas del mundo ultramicroscópico (puede que sean leyes de la desmaterialización y del nacimiento de partículas elementales), las leyes del macromundo y las del megamundo (la especificidad de estas últimas puede ser ilustrada, verbigracia, por el mecanismo del colapso de gravitación).

Existe otra forma más de limitación del conocimiento,

del pesimismo gnoseológico. Esta forma no se oculta bajo la ilusión estáticamente optimista del conocimiento acabado. Trátase de la divisoria entre las sensaciones subjetivas y el mundo objetivo. ¿Atraviesa el conocimiento esta divisoria llegando a la verdad objetiva? Aquí no se postula el conocimiento acabado, exhaustivo, de la sustancia y ni siquiera el conocimiento verídico comenzado. Es el agnosticismo más arraigado, más penoso para el pensamiento humano y más difícilmente superable. Está enfilado contra la presunción principal del conocimiento, contra el *ser* verídico del mundo cognoscible. Es lo que atormentaba a Descartes hasta que el destello de Ulma no le descubrió, en 1619, el camino hacia el conocimiento que le pareció fidedigno. ¿Qué puede garantizarnos la veracidad de las impresiones sensuales, la veracidad de lo que llega a la conciencia a través de los sentidos? ¿No será un sueño? ¿Existe lo que vemos o palpamos? ¿Quizá, las representaciones sobre las causas objetivas de nuestras sensaciones son ilusorias?

Raras veces podemos encontrar a un hombre que en efecto tenga dudas de la existencia del mundo exterior. El solipsismo no es sino la forma extrema (por lo demás, la única consecuente) del agnosticismo. Comunmente no se pone en tela de juicio la existencia del mundo exterior, sino la posibilidad de demostrarla con certeza. Descartes encontraba semejante demostración abandonando, a su parecer, el terreno del sensualismo, tomando como criterio de veracidad la propia duda, el propio pensamiento (*"Cogito, ergo sum"*) y comenzando a buscar en el mundo exterior lo que por su claridad fuese igual a este *"cogito"*. Resultó que esto era la extensión neta, y Descartes, al despojar a los cuerpos de otros predicados que no fuesen la extensión, esbozó un cuadro del mundo que, según él, era verídico.

No obstante, el conocimiento busca la autenticidad de las impresiones sensuales, sin lo cual no puede garantizar la autenticidad de sus conclusiones. Y aquí, ante el pensamiento humano, aparece la sombra de un *Ignorabimus* más general y temible que el del discurso de Du Bois-Reymond.

Pero también esta sombra no es más que un fantasma. En la historia de la filosofía, la ciencia y la técnica se hallan los argumentos decisivos en favor de la autenticidad del ser objetivo. Se hallan precisamente en la historia, en las conclusiones que se deducen del cuadro de la génesis y transformación de las representaciones del mundo y los métodos de cambiarlo.

El agnosticismo, referido al ser del mundo exterior, está vinculado con la representación del conocimiento como una serie de imágenes y comprobaciones que surgen espontáneamente. La conciencia desempeña aquí un papel pasivo. Por eso, precisamente, no puede infiltrarse más allá de la envoltura impenetrable de las sensaciones ni decir nada de si existe algo tras esta envoltura. Pero en realidad todo se opera de manera distinta. La conciencia posee una función activa y llega, sobre la base de las impresiones, a conclusiones que no radican en estas últimas. Luego la conciencia se objetiviza, el hombre influye sobre la naturaleza y comprueba sus conclusiones carentes de inmediatas raíces empíricas. Lo hace en el experimento o en la industria. La coincidencia de los fenómenos observados con los cálculos dimanantes de la teoría les imprime carácter verídico. El hombre mismo se incorpora en la cadena causal y no puede dudar de que los fenómenos se subordinan a ciertas causas. Revela estas causas, pues el resultado observado estaba predeterminado por la composición de los procesos materiales realizada en el experimento o la industria.

Este efecto gnoseológico de la ciencia se manifiesta más nítidamente cuando los resultados experimentales no coinciden con los que se deducían de la teoría, esto es, en el caso de los resultados *paradójicos*, tan característicos para la génesis y el desarrollo de la ciencia no clásica. Tal situación derrota tanto al empirismo gnoseológico (junto con el agnosticismo sensual que dimana de este empirismo) como a la gnoseología del apriorismo. El resultado paradójico no ha sido inventado por nosotros ni mucho menos, sino que altera lo que ha sido inventado. Pero tampoco ha sido impuesto a nosotros

empíricamente, pues la génesis y el desarrollo de la teoría no clásica consiste en construir nuevas representaciones poseedoras de "perfección interna" y armoniosidad lógica, de ligazón con observaciones muy numerosas, con la *ratio* del mundo en conjunto y, a la vez, de "justificación externa", que permite deducir unívocamente los resultados paradójicos observados, que en este caso pierden su carácter paradójico.

Ni el empirismo ni el apriorismo pueden evitar el pesimismo gnoseológico, el atolladero gnoseológico. La prueba de la realidad de los resultados de la ciencia estriba en el nexo unívoco de los fenómenos observados con la *ratio* del mundo. Este nexo no puede ser resultado del engaño de los sentidos ni construcción subjetiva de la razón.

Por eso la ciencia no clásica con sus resultados experimentales paradójicos, que rápidamente a los ojos de nuestra generación adquieren la "perfección interna" en la nueva teoría, hace lo mismo que la ciencia clásica, pero lo hace tan vertiginosamente que su resultado deviene convicción en la autenticidad del ser, en sensación optimista del abandono continuo del "puerto". Este estado de ánimo es típico de los virajes bruscos y decididos de la ciencia cuando ésta abandona el puerto en efecto. Para la ciencia no clásica tales virajes constituyen el contenido de su vida diaria, de su desarrollo ininterrumpido, que cambia sin cesar los principios fundamentales o prepara su cambio.

OPTIMISMO, SER, MOVIMIENTO

Así pues, los resultados paradójicos de la ciencia están enfilados contra el pesimismo gnoseológico, contra la sustancia incognoscible y el ser incognoscible. Esta función gnoseológica del experimento no clásico se realiza "fugándose del milagro", explicando la paradoja e incluyéndola en el cuadro único del mundo, en la *ratio* del Universo. El conocimiento del mundo es el conocimiento de la *ratio* del Universo, pero no de una *ratio* abstracta, como es, por ejemplo, el esquema

netamente geométrico de las líneas universales, sino de una *ratio* concreta, donde los elementos individuales conservan su individualidad, demostrando de este modo su irreductibilidad a esquema geométrico, su ser físico. Por eso el optimismo gnoseológico está ligado sucesivamente a la evolución del racionalismo, a su englobamiento consecuente del ser heterogéneo, contradictorio, en proceso de desarrollo, con su acompañamiento sensual: la "justificación externa" de los esquemas racionalistas.

La base del optimismo gnoseológico es la *ratio* real, objetiva del mundo. El optimismo gnoseológico consiste principalmente en comprobar tal *ratio*. La apreciación optimista del conocimiento es, ante todo, la comprobación de la realidad, la realidad física de su objeto y, por ende, de sus resultados. "Todo lo real es optimista". En esta frase, el espíritu optimista no caracteriza a la apreciación, sino a su objeto, y esto no es un error estilístico, sino ampliación del concepto de optimismo, el traslado de este término a la situación objetiva, que garantiza o, por lo menos, promete realizar con cierta probabilidad el pronóstico optimista.

"Todo lo real es optimista" no es una frase "al estilo de Hegel"; es una afirmación muy próxima, en efecto, a su prototipo. De hecho, la frase "todo lo real es racional" incluye en la definición de la realidad cierta estructura concebible por la razón, cierta *ratio*, y ve en cada elemento de la realidad algo que lo conecta con un todo ordenado. Nuestro contemporáneo asocia la fórmula de Hegel a los cuadros más racionales (inclusive a los racionalistas, pero con un marcado acompañamiento sensual, empírico y hasta experimental). Nuestro contemporáneo, quizás, recordará la representación cuantomecánica de la partícula en que se concentra el campo, de la partícula que participa en la interacción de otras partículas, quizás, hasta en la interacción general de todos los elementos del Universo. Como acabamos de decir, el ser de la partícula comprende su conexión con un todo ordenado. Precisamente con un todo ordenado que posee una *ratio* objetiva, con el Cosmos y no con un caos. La interacción de

todos los elementos del Cosmos incluye el ser *universal* en el ser de la partícula. La física moderna no conoce partículas aisladas en el espacio.

Pero tampoco conoce partículas aisladas en el tiempo, partículas sin pasado ni futuro. Si el sentido físico racional se busca en la transformación de la *ratio* en garantía del ser, transformación que la filosofía conoce hace ya mucho, es racional no sólo la estructura instantánea del mundo, sino también su evolución. En cada elemento del ser debe existir algo que vincule este elemento con un todo del *espacio-tiempo*; cada elemento del ser es un resultado real del pasado, un pronóstico real del futuro.

Aquí conviene abundar en los actuales equivalentes físicos de las colisiones abstractas del ser. Tomemos el conjunto de *puntos universales*, esto es, de las posiciones de la partícula en el espacio-tiempo, de las comprobaciones de su estancia en un momento dado del tiempo en un punto dado del espacio. ¿Qué es el movimiento de la partícula que incluye estos puntos universales cuatridimensionales? ¿Qué es la *línea universal* cuatridimensional de la partícula: una imagen física o netamente geométrica? ¿Posee la línea universal ser físico?

La simple transición de una localización espacial a otra, de unas coordenadas espaciales a otras, junto con la transición de un valor de la coordenada temporal a otro, no es aún el ser físico. Admitamos que la línea universal posea semejante ser, que no se reduzca al cambio de localizaciones cuatridimensionales y esté llena de acontecimientos irreductibles a tal cambio. Supongamos, por ejemplo, que en los puntos universales se operen actos de transmutación, que la partícula de una especie se convierta en partícula de otra especie, volviendo a transformarse luego en partícula de la especie inicial. No nos importa en este caso cuán argumentada es esta hipótesis desde el punto de vista físico; tenemos ante nosotros una ilustración convencional de cierta colisión indudable.

Ahora surge la pregunta: ¿poseen ser físico los actos de transmutación que deben garantizar el ser de la línea universal? La transmutación de la partícula, la transformación de

la partícula de una especie en partícula de otra especie, consiste en pasar a una masa distinta, a una carga distinta: a los predicados que significan una línea universal determinada, una conducta determinada de la partícula en unos u otros campos. La transmutación pierde sentido físico, si aquí no se pronostica cierta línea universal eventual. El acontecimiento local y el todo macroscópico encarnado en el mismo (en el presente caso, la línea universal) son componentes del ser mutuamente inseparables.

Confrontemos esta conclusión, que es la sintetización natural y casi sobrentendible por sí misma de la ciencia no clásica moderna, con sus prototipos históricos. En el fondo el cálculo diferencial, o mejor dicho la representación diferencial del movimiento, encerraba ya la idea del proceso integral macroscópico. Incluímos en "ahora", en el ser de cierta partícula en un momento dado, su velocidad, la relación límite de su movimiento eventual con el tiempo. Para ello, el desplazamiento pronosticado y el tiempo necesario para el mismo se concentran en un punto y en un instante. Su relación límite es la velocidad de la partícula. Pero eso no es todo. Pronosticamos la aceleración de la partícula y, volviendo a concentrar en un punto el futuro movimiento, podemos juzgar de la energía, la masa y la carga de la partícula.

El hecho de que la *ratio* macroscópica, del espacio-tiempo, el "pronóstico" (no se trata de un pronóstico subjetivo, sino del proceso macroscópico objetivo) forman parte del ser local, individual, es más evidente aún en los principios integrales de la mecánica. El principio de la acción mínima exige que la línea universal efectiva se caracterice por el valor mínimo de cierta integral. Así pues, lo que se opera *ahora y aquí*, en el momento dado y en el lugar dado, depende de la especie de la línea universal que vincula cada punto universal dado no sólo con otros puntos espaciales, sino también con otros momentos, con otros puntos universales, con el pasado y el futuro. El acontecimiento local depende del resultado integral, del carácter de toda la evolución, que

Universo y sus elementos en el tiempo. Pero ¿se trata aquí de los *cambios* en el tiempo? ¿Puede tener esta ley alguna relación con el optimismo dinámico, que no se limita a hacer constar complacido la inmutabilidad del ser?

Además, a primera vista la ley de la conservación de la energía no habla de "lo mejor" y "lo peor", sino tan sólo de "lo mayor" y "lo menor". Establece la conmensurabilidad cuantitativa de las distintas formas de energía. Así pues, la energía como si pasase a ser homogénea, puede ser mayor o menor con la particularidad de que durante las transiciones de una forma a otra se excluyen tanto el acrecentamiento como el aminoramiento, tanto "mayor" como "menor". Pero esta es una versión relativamente simple de la ley de la conservación de la energía; Engels la llamó ley de la conservación en forma negativa: la ley niega los cambios cuantitativos durante las transiciones cualitativas[4]. El contenido cualitativo y positivo de la ley de la conservación de la energía consiste en afirmar que la energía, siendo increable e indestructible cuantitativamente, pasa a otras formas cualitativas[5]. Por consiguiente, la energía es heterogénea, no idéntica cualitativamente. Esta es una ilustración muy transparente de la correlación fundamental entre la identidad, la homogeneidad y la conmensurabilidad cuantitativa, por una parte, y la no identidad, la heterogeneidad y la diferencia cualitativa, por la otra. Cada uno de estos polos sin el otro pierde sentido; la conservación netamente cuantitativa es un concepto carente de sentido sin la diferencia cualitativa, sin dos y más formas cualitativas no coincidentes, entre las cuales se establece una identidad cuantitativa.

No es una construcción puramente lógica ni mucho menos. En física se habla hace mucho ya de la desaparición futura de las diferencias cualitativas entre las formas de energía; de la transformación de toda la energía en energía térmica

---

[4] Véase F. Engels. *Prefacio a las tres ediciones de "Anti-Dühring"*. C. Marx y F. Engels. *Obras*, ed. en ruso, t. 20, pág. 13.

[5] Ibídem.

y de la *muerte térmica* del Universo. Al consumarse semejante evolución, la conservación de la energía en el Universo adquiere ya no un sentido negativo, sino nulo, completamente trivial: al pasar de una forma a otra, la energía no aumenta ni se disminuye, porque tales pasos no existen. La ley de la conservación de la energía pierde sentido físico.

La perspectiva de la muerte térmica es la perspectiva de la destrucción del Cosmos, de su transformación en un caos. ¿Puede calificarse de pesimista esta perspectiva? Se sugiere intuitivamente una respuesta afirmativa: un pronóstico que predice la muerte del mundo parece pesimista. Incluso si se trata de la muerte térmica mucho más allá de los límites de la existencia del género humano. Incluso si la muerte térmica no excluye oasis locales, comprendida nuestra Galaxia. Intentemos descifrar las fuentes de semejante aplicación intuitiva de los conceptos de pesimismo y optimismo.

La concepción de Sadi Carnot (el calor pasa del cuerpo caliente al frío, pero no puede ir en dirección contraria) se convirtió en fundamentación de la idea de la evolución irreversible del mundo. La diferencia de temperatura disminuye en todo proceso de transición del calor. Si en un sistema local dado se logra aumentar la diferencia de temperatura, esto ocurre únicamente a costa de la nivelación compensadora y excedente en el medio ambiente o en otros sistemas, en el mundo, en general. Así pues, al mundo le amenaza la nivelación de la temperatura. Pero la transformación del calor en energía mecánica sólo es posible si existen desniveles de temperatura. Cuando la energía mecánica se transforma en calor, y esto ocurre constantemente, en cierta medida en el balance general de la naturaleza la transformación inversa es cada vez menos posible, pues se borran paulatinamente los desniveles de temperatura. El futuro del mundo consiste en la transformación de toda la energía en calor, en la nivelación de la distribución del calor, en la desaparición de los desniveles de temperatura y de las transformaciones energéticas, en la conservación sólo del movimiento de las moléculas igualmente desordenado en todas partes, que no tiene desniveles

macroscópicos ni estructura macroscópica, que es caótico... Esto es precisamente la muerte térmica de la cual se ha tratado más arriba.

La filosofía, en la persona de Engels[6], y la física estadística del siglo XIX expusieron argumentos de peso suficiente contra la muerte térmica. La ciencia moderna –la teoría de la relatividad, la cosmología relativista y, en grado no menor, la mecánica cuántica– obliga a interpretar la termodinámica del Universo desde nuevas posiciones que, como puede pensarse, eliminan la inevitabilidad de la muerte térmica, aunque no dan todavía una representación unívoca sobre su contrario: el mecanismo cósmico de la formación de los desniveles de temperatura.

La medida del desorden de los movimientos moleculares y de la nivelación del calor, del allanamiento de los desniveles de temperatura se llama *entropía*. La misma magnitud, pero tomada con el signo menos –medida del ordenamiento macroscópico, de la desigualdad de la distribución de la temperatura, de las diferencias de temperatura (en los desniveles de temperatura)– se llama *entropía negativa*.

Actualmente los conceptos de entropía y entropía negativa están muy generalizados. En la teoría de la información y en la teoría moderna de las probabilidades se llama entropía la medida de la indeterminación: proximidad de los valores de las probabilidades de distintos acontecimientos. Si todos los acontecimientos tienen igual probabilidad, tiene lugar el pronóstico más indefinido, y la entropía es máxima. Si la probabilidad de un acontecimiento es igual a uno, y de los demás, a cero, la indeterminación desaparece, convirtiéndose en veracidad, siendo mínima la entropía y máxima la entropía negativa. Como resultado del experimento desaparece la indeterminación habida medida por la entropía. La desaparición de la indeterminación es una información que se mide por la entropía desaparecida.

---

[6] Véase F. Engels. *Anti-Dühring*. C. Marx y F. Engels. *Obras*, t. 20, págs. 359-363, 599-600.

Así pues, la entropía es medida de equilibrio macroscópico, de homogeneidad, carencia de estructura y carácter caótico de los microprocesos, medida de su liberación del ordenamiento macroscópico. La entropía negativa es medida de este ordenamiento, medida cuantitativa de subordinación de los microacontecimientos a la *ratio* macroscópica y, en última instancia, a la cósmica.

Veamos la naturaleza desde el lado de la entropía negativa, escudriñemos este sistema de procesos locales de aumento de la entropía negativa y disminución de la entropía a costa del aumento de aquélla en el medio ambiente, en el sistema incluyente. Tales procesos, precisamente, convierten el caos en Cosmos. El propio concepto de Cosmos adquiere aquí un sentido dinámico; el Cosmos no sólo existe en un momento dado, sino que se desarrolla y se crea. Con la particularidad de que el Cosmos *creado* (lo que Espinosa llamara *natura naturata*) es el Cosmos creador (la *natura naturans* espinosiana). El desnivel local surgido, la entropía negativa, el ordenamiento del ser provocan o, en todo caso, pueden provocar otros procesos conducentes a un desnivel distinto, a un ordenamiento distinto; desde este punto de vista, el mundo no avanza a la desracionalización, al reino de la entropía, sino a la estructura, al ordenamiento, a la *ratio*. Y, por lo visto, este proceso de racionalización, de ordenamiento del crecimiento de la estructuración del mundo no tiene el límite fatal expresado en la muerte térmica.

¿Por qué el cuadro de la entropía negativa local en proceso de formación produce en el hombre una reacción optimista?

Porque precisamente los procesos de entropía negativa constituyen la base de la actividad racional del hombre y, al analizarlos, el pronóstico objetivo deviene fuente de presentimiento subjetivo del futuro, de apreciación subjetiva del futuro, de su apreciación optimista. Esta ligazón de los procesos *cuasi*racionales con los racionales, del "optimismo" en la naturaleza con el optimismo sin comillas, le quita carácter arbitrario a la comparación del "optimismo" con el optimismo

sin comillas; esta comparación se apoya en el nexo real y fundamental de los procesos espontáneos (pero ordenadores, entrópico-negativos y creadores de la estructura) en la naturaleza con los procesos racionales en la técnica, en el trabajo, en la actuación del hombre.

Puede formarse la impresión de que el aumento de la entropía negativa, el cambio y la complicación del ordenamiento macroscópico del ser corresponda a los pronósticos optimistas, mientras que las leyes de la conservación y la simetría pueden constituir, si es que pueden, únicamente la base del optimismo estático: "Así era, así será". Pero las formas dinámica y estática del optimismo, una sin otra, pierden sentido. Si el hombre no hubiera estado seguro de que los procesos de modificación se subordinan a cierta ley constante que se expresa en la inmutabilidad, la invariabilidad de alguna correlación, en la conservación de cierta magnitud, en la simetría y la identidad, el optimismo habría dejado de tener carácter de pronóstico científico. Si la conservación pierde sentido físico, positivo, cualitativo, sin el cambio de algunas correlaciones, a su vez, el cambio pierde carácter lógico sin las leyes de la conservación, la inmutabilidad y la simetría. Sin los procesos macroscópicos, o sea, sin los movimientos idénticos, uniformes y ordenados de las micro-partículas pierden sentido las diferencias mismas en la conducta de éstas. Sin el concepto de inercia pierde sentido el concepto de aceleración; sin comprobar la identidad de las velocidades no se podría estudiar ni reproducir el movimiento. La idea de tal inmutabilidad, conservación, ordenamiento o determinación del ser es el componente esencial del optimismo; el optimismo es imposible sin esta idea.

La unidad de la identidad y la no identidad es la base del optimismo. El cuadro del desordenamiento total, la entropía total, la falta total de procesos macroscópicos, o en otros términos, el cuadro del caos, puede dar lugar a una apreciación pesimista y a un estado de ánimo pesimista. Pero eso mismo puede provocarlo también el cuadro de la identidad total de los actos individuales, o sea, de la reducción del

cuadro del mundo únicamente al aspecto macroscópico, sin microestructura, la idea de la naturaleza como algo que hace recordar los dispositivos de combate en *La guerra y la paz* (*"Die erste Kolonne marschiert..."*).

La concepción de la entropía y la entropía negativa permite demostrar meridianamente el nexo, y más aún, la unidad de las dos representaciones pesimistas mencionadas. La entropía máxima, la falta total de desniveles macroscópicos excluye, priva de sentido los actos microscópicos. A la vez tanto la entropía negativa máxima como la entropía máxima no permiten prever los procesos reales; el desnivel de temperatura sin los movimientos moleculares entrópicos no constituye, ni mucho menos, el ser, la realidad física, y tal ficción no puede producir ninguna reacción optimista.

La reacción optimista es provocada por el desnivel macroscópico, que determina la transformación lógica del calor, es una transformación real, que comprende la indeterminación entrópica del movimiento de moléculas por separado. Este desnivel, lo mismo que cada manifestación de la entropía negativa del mundo, entropía negativa real, viva, creciente y que no excluye el polo opuesto, significa (¡en virtud de su carácter lógico!) cierta identidad, inmutabilidad y conservación.

CONDICIONES INICIALES

La base del optimismo es la evolución del ser lógica, determinada. Pero, por otra parte, el optimismo descansa en la convicción de que esta evolución lógica coincide con la *finalidad* del hombre, que determina su actuación consciente. Así pues, la filosofía del optimismo debe partir de cierta síntesis: 1) del conocimiento que descubre la evolución determinada del ser, y 2) de la actuación del hombre. Es una colisión muy esencial que atraviesa toda la historia de la filosofía. En el presente libro que trata del optimismo gnoseológico, o sea, del optimismo de la ciencia, esta colisión adquiere la forma de interrogante: ¿tiene la ciencia una finalidad?

El concepto de finalidad es el paso del pronóstico a un plan, de la comprobación de los procesos objetivos a una composición suya tal que conduce a la realización de la imagen ideal surgida de antemano. ¿Es la ciencia una actividad racional? ¿Se determinan por la finalidad, o sea por la situación formulada de antemano en la conciencia, las vías de la ciencia, su estructura y la evolución de su contenido?

Esto lo contradice, al parecer, la representación inicial e inconmovible de la ciencia como una búsqueda de lo desconocido. La ciencia busca lo desconocido presionada por los estímulos inmanentes, partiendo de las contradicciones perfiladas ya, tratando de no desviarse del camino del análisis puramente causal y haciendo caso omiso de los *idola* pragmáticos de los que habló Francisco Bacon.

Y no obstante, la ciencia es una actividad racional.

Esto se desprende no sólo e incluso no tanto de las funciones aplicadas de la ciencia. Esto dimana de las consideraciones propiamente gnoseológicas. Del papel del experimento en la ciencia. De la siguiente comprobación gnoseológica general: el conocimiento adecuado de la naturaleza, el conocimiento de la sustancia, del sustrato objetivo de los fenómenos, y la seguridad de la existencia y cognoscibilidad de tal sustrato se apoyan en la acción que transforma el mundo objetivo.

Tratemos de estudiar más de cerca la influencia de las finalidades de la ciencia sobre la evolución de su contenido. Precisamente sobre la evolución, pues el contenido mismo no depende del carácter, la orientación y las fuerzas motrices de la evolución. En cambio, de ellos depende el efecto de la ciencia, de lo cual se tratará más adelante. En cuanto al optimismo, esto es, la correlación que vincula las finalidades de la actuación humana con el pronóstico de los procesos objetivos; el grado de esta correlación, la magnitud que se podría llamar medida del optimismo, depende tanto de las finalidades mismas de la ciencia como de las regularidades objetivas descubiertas por ella, del contenido de la ciencia.

¿Qué aspecto, elemento o parte de los procesos objetivos

es el más plástico? ¿Dónde se incorpora el hombre al juego de las fuerzas espontáneas, supeditándolas en una u otra medida?

Aquí tenemos que volver al concepto de entropía negativa, de ordenamiento del mundo, al concepto de *mundo-en-conjunto,* y subrayar la heterogeneidad del mundo y la autonomía de varias series de fenómenos, y a la vez el hecho de que los sistemas menores, incluidos, dependen de los mayores, incluyentes, y viceversa.

La naturaleza, como infinidad de tales sistemas incluyentes e incluidos, se opone al hombre. En ella se producen acontecimientos y transcurren procesos independientes del hombre, que se producían y transcurrían del mismo modo mucho antes de la aparición del hombre sobre la Tierra. Al estudiar la naturaleza, el hombre encuentra en ella transiciones de un sistema a otro. Las zonas de transiciones, las zonas de diferencia y conexión entre los sistemas, resultan las más plásticas; en ellas precisamente comienzan, ante todo, los procesos racionales de transformación de la naturaleza, comienzan la producción, la civilización, el trabajo. El sistema incluyente transmite al incluido cierta reserva de entropía negativa que asegura la posibilidad de seguir gastando esta reserva y de aumentar la entropía. Son las zonas donde la estructura del ser es influenciada del modo más palpable por la razón humana. En su tiempo, V. Vernadski introdujo como giro científico el concepto de noosfera de la Tierra, que a diferencia de la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera, lleva implícitas las improntas evidentes de la actuación de la razón humana. Ha llegado el momento de generalizar este concepto. La razón y el trabajo del hombre descubrieron noozonas en las entrañas muy profundas de la Tierra y en el espacio circunterrestre, lejos del planeta, en el núcleo atómico y en la célula viva. El concepto "noozona" será el concepto central del presente libro, y el análisis de las noozonas, su trama continua. Precisamente en ellas, en las noozonas del espectro de la radiación, en las noozonas de la jerarquía de los elementos discretos del micromundo, en las noozonas

del macrocosmos, en las noozonas de la ontogenia y la filogenia, en las noozonas del mundo se realiza la correlación de las finalidades del hombre y los procesos objetivos que sirve de apoyo y medida del optimismo. Pero no vamos a apresurarnos. Caractericemos ahora sólo en la forma más general los elementos de los procesos objetivos, a través de los cuales se ejerce la influencia racional del hombre sobre estos procesos. Tales son las *condiciones iniciales* de los procesos de la naturaleza supeditados a las leyes diferenciales. En mecánica, el movimiento de la partícula puede ser determinado unívocamente partiendo de las leyes diferenciales del movimiento (en la mecánica del micromundo, con condiciones y limitaciones sustanciales). Pero las ecuaciones de la mecánica analítica son insuficientes de por sí para formar un cuadro unívoco del movimiento, siendo dados de antemano los campos de fuerza. Las órbitas de los planetas se determinan no sólo por la combinación de la inercia y la gravitación; el movimiento de un planeta se determina por las condiciones iniciales, las situaciones e impulsos iniciales, por el impulso inicial, que Newton atribuyó a Dios, y Kant a la evolución cosmológica precedente. Estas condiciones no se someten al influjo racional, pero en la Tierra se modifican racionalmente en grado cada vez mayor: en ello consiste una de las definiciones principales de la civilización. Nadie puede abolir la ley que obliga a las moléculas del agua a moverse, por gravedad, del punto superior al punto inferior. Pero la diferencia entre los potenciales, esto es, la entropía negativa que obliga a las moléculas del agua a moverse, en general, uniformemente se modifica al construirse una presa.

Tomemos otro ejemplo que se refiere a la entropía y la entropía negativa en el sentido primario, propiamente termodinámico. El movimiento de las moléculas es caótico, su caos crece, y el calor pasa del cuerpo caliente al frío, disminuyéndose el ordenamiento en la distribución del calor. No se puede cambiar todo esto. Pero la entropía negativa de partida, las condiciones inicales, los desniveles de las temperaturas iniciales se modifican. Al quemar la hulla debajo

de una caldera y obligar al vapor que pase al cilindro y, luego, al condensador, el hombre aproxima en el tiempo y en el espacio los polos del desnivel natural, lo mismo que en el caso de la presa se aproximan las cotas superior e inferior en un sector de la corriente del río.

Un ejemplo más. La ontogenia de las criaturas vivas está codificada en cada embrión y determinada por la entropía negativa de partida, la estructura de partida del embrión. Pero los destinos de los organismos dependen asimismo de los influjos exteriores que, hablando en general, son caóticos, pero en conjunto tienen cierto orden, conduciendo al curso lógico de la filogenia. La actividad racional del hombre está orientada a todas las condiciones iniciales: tanto al código hereditario (mutaciones artificiales ya en la fase inicial; las mutaciones son a menudo espontáneas y contradictorias a las finalidades del hombre) como al habitat (por ejemplo, la agronomía) y al mecanismo de influencia del medio (selección artificial).

Este esquema un tanto simplificado ilustra el nexo existente entre las condiciones iniciales de entropía negativa en la naturaleza y la influencia racional del hombre sobre la misma. Las condiciones iniciales constituyen precisamente el componente más plástico de la armonía mundial, de la estructura macroscópica del mundo, componente al cual está aplicada la actividad racional del hombre. La transformación de este componente, la transformación y aumento de la entropía negativa en el mundo es una determinación física de todas las finalidades concretas del trabajo y de los índices concretos del progreso. Es lógico que el hombre aproxime el contenido físico de su actividad a los procesos objetivos de estructuración del mundo, de aumento de la entropía negativa, que son objeto inmediato de esta actividad, y extiende la apreciación optimista a estos procesos.

Pero la estructura del mundo, su *ratio*, es el componente del ser. No vale la pena repetir los argumentos de la ciencia moderna en favor de que la existencia de las partículas depende de su interacción, ni las comprobaciones filosó-

ficas de la encarnación del todo en el ser individual. No cabe recordar tampoco el carácter ilusorio de un todo, prescindiendo del ser individual, ni del carácter geométrico de las líneas universales sin llenar. Recordemos mejor conceptos distintos, ajenos a la física (pero no en el sentido absoluto).

En la literatura del siglo XIX apareció la inmortal imagen del ser ilusorio que había perdido uno de sus componentes. Trátase de la ciudad que figura en las novelas de Dostoievski, ciudad fantasma, San Petersburgo, donde "todos tiran por su lado", donde no existe una idea, actividad u organización que unifique a los hombres. Este ser ilusorio y granulado se completa con un "Universo-donde-no-pasa-nada", ilusorio, del que habla el diablo a Iván Karamázov, y con la armonía universal ilusoria, que hace caso omiso del ser individual, de los destinos individuales. De esta armonía 'euclidiana" y "no euclidiana" habla Iván Karamázov a Aliosha. El pesimismo de Dostoievski está dirigido aquí al mundo en que es vulnerado el nexo entre el todo y lo individual, entre la *ratio* macroscópica y su contenido microscópico. Pero no es una apreciación moral, sino más bien ontológica: sin tal nexo, el mundo no posee más que un ser ilusorio, el mundo es un fantasma. El pesimismo es inseparable de la comprobación del no ser. Pero el nexo con el todo se expresa en que en la existencia individual se incluyen predicados "de pronóstico"; en el punto universal se incluye la línea universal eventual de la partícula, su velocidad, aceleración, energía, masa y carga; se expresa en el vínculo de la partícula con la entropía negativa del mundo; en lo que sirve de base al optimismo. Los fantasmas pesimistas de Dostoievski son la comprobación negativa del nexo del ser con el optimismo. Todo lo real es optimista.

LO EXISTENTE Y LO DEBIDO

La filosofía del optimismo significa, ante todo, rebasar el marco de la percepción netamente pasiva del mundo. El conocimiento pasivo no garantiza la autenticidad de sus

resultados, la realidad de su avance hacia la verdad: únicamente fundiéndose con la acción, adquiere la seguridad del ser y la cognoscibilidad ilimitada del mundo, o sea, lo que tiene derecho de llamarse optimismo gnoseológico.

El tránsito del conocimiento a la acción siempre había sido la piedra de tope para la filosofía clásica y para sus predecesoras. La filosofía greco-romana antigua, en todo caso los representantes suyos que habían conservado por entero la armonía antigua de la percepción, el pensamiento y la voluntad, no tenían planteado el problema de dicho tránsito, pero en la Edad Media este problema devino fundamental y continuó siéndolo en la filosofía del Renacimiento y de la Edad Moderna. A partir de la publicación de las tesis de Marx sobre Feuerbach, a partir del momento en que la filosofía se planteó la tarea no sólo de explicar el mundo, sino también de transformarlo, la actitud del conocimiento hacia la acción y de la ciencia hacia la moral cambió radicalmente. En la ciencia no clásica, la nueva relación entre estos polos se hizo evidente desde dos lados: desde el lado de lo existente, como objeto del conocimiento, y desde el lado de lo debido, como contenido de las normas, fines e ideales. Respectivamente, el optimismo –la correlación entre lo que es y lo que debe ser– adquirió un nuevo sentido y una nueva significación.

En el artículo *La moral y la ciencia,* Henri Poincaré dice que la moral y la ciencia, lo debido y lo existente no pueden ser unificados deduciéndose lógicamente lo uno de lo otro, pues la ciencia se las ve con el *indicativo* y la moral con el *imperativo*[7]. En efecto, las comprobaciones del tipo: "existe el objeto tal", "transcurre el proceso tal", "tuvo lugar el acontecimiento tal", lo mismo que las más complejas del tipo: "la causa del acontecimiento es..." (están en indicativo), no pueden deducirse de las oraciones del tipo imperativo: "es necesario obrar de la siguiente manera..." y viceversa. Esta independencia lógica de las comprobaciones cien-

[7] Véase H. Poincaré. *Dernières Pensées.* Paris, 1913, p. 225.

tíficas y las normas morales parece absoluta. Pero ¿es así en realidad?

En 1951, Einstein escribió a Solovin:

"Lo que llamamos ciencia persigue exclusivamente el fin de establecer lo que es. La determinación de lo que debe ser es una tarea independiente en cierta medida de la primera: si se obra consecuentemente, el segundo fin es inalcanzable en general. La ciencia no puede más que establecer la conexión lógica entre las proposiciones morales y proporcionar medios para la realización de los fines morales, pero la determinación del fin está al margen de la ciencia"[8].

En el fondo, aquí resulta ya no tan absoluta la independencia de lo que es y lo que debe ser, del indicativo y el imperativo, de la ciencia y la moral. Lo debido se determina independientemente nada más que en *cierto grado*. En el imperativo, sólo el propio fin no puede deducirse del indicativo, de la comprobación de lo existente. Tanto las vías de realización de lo que debe ser como la estructura lógica de sus determinaciones dependen de la ciencia. En una charla con el escritor irlandés Murphy, Einstein dijo que la ciencia posee fuentes morales. Con ellas no está vinculado el contenido de las comprobaciones científicas, sino su dinámica, su cambio, su evolución. La autoconciencia moral hace avanzar la ciencia. "Es aquí donde se manifiesta el lado moral de nuestra naturaleza: aquella misteriosa consagración interior que Espinosa recalcaba muy a menudo bajo el nombre de *amor intellectualis*. Como ve –continúa Einstein dirigiéndose a Murphy–, yo pienso que usted tiene razón al hablar de los fundamentos morales de la ciencia. Pero usted no puede voltear este problema y hablar de los fundamentos científicos de la moral"[9].

Cabe señalar sin embargo que, a pesar de la actitud escéptica hacia la posibilidad de fundamentar científicamente la moral, Einstein, no obstante, llega a la conclusión de la

---

[8] A. Einstein. *Lettres à Maurice Solovine*. Paris, 1956, p. 105.

[9] *Forum*, 1930, N° 83, p. 379.

existencia del influjo inverso de la ciencia sobre los principios morales de la humanidad. "El interés universal por la teoría científica –dijo él en la misma charla– incorporó al juego las facultades espirituales superiores, lo cual no podía menos de tener una gran importancia para el mejoramiento moral de la humanidad"[10].

Así pues, resultan independientes una de otra la ciencia comprendida como *contenido* de algunas comprobaciones, como algo estable, separado del proceso de su evolución, transformación y cambio, y la moral como *contenido* de algunas normas, tomado al margen de su génesis y realización. En cuanto infringimos la inmovilidad de las comprobaciones, por una parte, y las normas, por la otra; en cuanto la ciencia y la moral aparecen en su esencia concreta y mutable, se hace problemática y convencional en el acto su independencia.

En el último capítulo del libro *Historia del principio de la relatividad,* M. A. Tonnelat dice que la moral, lo mismo que la filosofía y el arte, no puede agregar nada a la armonía interna de la teoría científica. No puede hacerla más perfecta, lo mismo que el análisis más sublime no puede hacer más perfecta una sinfonía de Mozart[11]. Esto se refiere al contenido de la teoría científica. En cuanto se trate del cambio del contenido, la ciencia se inspira en el arte, la moral, la filosifía[12]. El aislamiento se sustituye por su viva conexión dinámica. Cuanto más íntimamente está ligada la "perfección" del contenido positivo de la teoría al abandono de su encastillamiento, tanto más convencional es el aislamiento de la ciencia respecto a otros géneros de vida espiritual de la humanidad.

De ahí se deduce el cambio de la relación entre la ciencia y la moral, al pasar de la ciencia clásica a la no clásica.

---

[10] Ibídem.

[11] M.-A. Tonnelat. *Histoire du principe de relativité.* Paris, 1971, p. 487.

[12] Ibíd., p. 488-489.

En la ciencia clásica el contenido positivo y, diríase, estancado de las comprobaciones científicas podía separarse en medida considerable de su acompañamiento negativo, de las contradicciones, de la pauta "interrogadora" del progreso científico. Actualmente, el contenido positivo es inseparable prácticamente de la dinámica; el juicio de la ciencia no puede ser separado de su razón. Cambia asimismo el carácter de la moral, cuyo centro de gravedad se traslada de las normas a las vías de realización: no sólo las normas del bien, sino también su desarrollo, su aplicación y la transformación de lo debido en lo existente pasan a ser factores esenciales en la autoconciencia moral de la humanidad. El optimismo, que nace de la ciencia moderna, es inseparable de la autoconciencia moral. Esto obliga a recordar la crítica de los cánones inmóviles de la moral en la filosofía dialéctica, el arte y la cultura. Nos limitaremos aquí a exponer ciertas reminiscencias fragmentarias.

La forma muy acabada de los cánones morales estables es un imperativo categórico clásico: tus actos deben ser ejemplos de normas universales, cada acto puede devenir norma universal. La inclusión del acto individual en la norma universal no cambia a esta última. Semejante moral estable está ligada históricamente con lazos fuertes a una cultura estable, a las condiciones y normas estables o lentamente mutables de la vida social, a una economía estable o cuasiestable. En la Edad Media, la moral se encarnaba en normas tradicionales, considerándose que el bien era lo santificado por la tradición, con la particularidad de que las normas morales regulaban la economía, garantizando en cierto grado su carácter tradicional: recordemos los conceptos tan característicos para el Medioevo de "precio justo", "ganancia justa", "interés justo"... El pronóstico optimista consistía en prever las normas y condiciones acostumbradas y, por ende, "justas", compatibles únicamente con el optimismo conservador expresado en la frase "así era, así será". A veces se presentaba una concepción cuasidinámica: las exigencias muy elevadas, siendo incumplibles en el sentido absoluto, indican el

camino infinito hacia la perfección moral. Pero esto no dice nada del ideal moral efectivo. A veces, las concepciones tradicionales del bien dibujaban el mundo moral como algo homogéneo, sin sombras, semejante al mundo físico homogéneo sin el no ser, como aparecía el mundo en la física cartesiana. Parecía que el bien era la homogeneidad del ser, compenetrado del "hosanna continuo". Hemos recordado ya este término, que aparece en *Los hermanos Karamázov,* en la réplica del diablo, que lleva a un fin lógico los pensamientos de su interlocutor, pensamientos intolerables para Iván Karamázov y para Dostoievski mismo, interpretados, en resumidas cuentas, por "cierto caballero ruso no muy canoso": el huésped infernal de Iván Karamázov. El diablo dice a Iván: "Sin crítica no habrá más que "hosanna". Pero el "hosanna" solo no basta para la vida. Se necesita que ese mismo "hosanna" pase por el crisol de las dudas..."[13]

El diablo prosaico y acentuadamente banal de Dostoievski dice algo fundamental en extremo y muy parecido a la réplica de su colega de *Fausto,* mucho más imponente y conocedor de filosofía. Mefistófeles informa a Fausto de sí mismo: "Soy parte de la fuerza que desea el mal y hace el bien". "Desea el mal" significa conculcar el "hosanna". "Hace el bien" quiere decir que convierte el bien, de canon inmóvil, en algo que se realiza y desarrolla históricamente.

A semejanza del diablo de Karamázov, Mefistófeles expone algunas ideas, personifica cierto aspecto de la psique de su constante acompañante e interlocutor y, en definitiva, de su creador. Fausto se aleja de la ciencia porque no le satisface el carácter ilusorio del pensamiento que identifica el ser haciéndolo homogéneo. Aquí, a través de las líneas de *Fausto* brota la tendencia antinewtoniana, sensualista y emocional de Goethe. La ciencia, como suma de resultados definitivos y eternos, como reino del pensamiento puro, no complicado por contradicciones, impresiones y emociones, es

---

[13] F. Dostoievski. *Obras en diez tomos,* ed. en ruso, t. 10, Moscú, 1958, págs. 169-170.

un "hosanna" al conocimiento. Lo mismo que la filosofía del bien homogéneo identificado es un "hosanna" a la moral. Y Fausto huye de la razón, de la ciencia, del bien, concertando un pacto con el espíritu del mal. Pero la razón, la ciencia y el bien rechazados por Fausto son ideales wagnerianos, homogéneos e inmóviles. Estos ideales le parecen a Fausto carentes de vida e ilusorios. El quiere el pecado, el mal, y va por este camino no tanto guiado por el espíritu del mal como apoyado por él en un sentido técnico. Pero es el camino de la discusión continua entre el bien y el mal. Esta discusión termina cuando Fausto exige: "¡Detente, instante, eres tan bello!" Es el triunfo absoluto, es la identidad de cada instante posterior con el anterior, el fin del ser, la muerte. Es el triunfo absoluto del bien. Pero Fausto supera a la muerte con el trabajo, con la creación, es decir, en un proceso que no puede interrumpirse. El final de *Fausto* es la apoteosis del bien que no excluye el mal, sino que lucha contra él, la apoteosis del ideal moral dinámico.

En su análisis de la filosofía de Feuerbach, Engels opone a la concepción del bien natural y a la moralidad natural del hombre la idea de la evolución histórica del bien y el mal en lucha, la idea de la realidad del mal. El hombre, dice Engels, no sólo es bueno, sino también malo. "Pero a Feuerbach no se le pasa por las mientes investigar el papel histórico de la maldad moral"[14]. En este sentido, Feuerbach retrocedió en comparación con Hegel. "La misma vulgaridad denota, si se le compara con Hegel, en el modo como trata la contradicción entre el bien y el mal"[15].

En efecto, el problema del bien y del mal, como lo planteó Hegel, es la salida del ideal moral estático, el paso al ideal moral dinámico, a la lucha del bien contra el mal y, por tanto, al ser humano, que distingue al hombre de la naturaleza, lo opone a la naturaleza, lo conduce a una compo-

---

[14] F. Engels. *Ludwig Feuerbach y el fin de la filosofía clásica alemana*. C. Marx y F. Engels. *Obras*, t. 21, pág. 296.

[15] Ibídem.

sición racional de los elementos de la naturaleza. Hegel se pronuncia contra las ideas de Rousseau, contra la idea de que el hombre es bueno por naturaleza, por lo cual debe seguir siendo fiel a la misma. "La salida del hombre de su ser natural es la distinción del hombre, como criatura autoconsciente, del mundo exterior"[16].

Pero esto no es suficiente. Cuando el hombre se opone a la naturaleza, y únicamente a la naturaleza, es aislado. A juicio de Hegel, en este caso, el hombre deviene "hombre solo", sin elevarse en este sentido sobre la naturaleza, sobre su lucha de todos contra todos. La actividad egoísta del hombre tropieza con el marco de la ley. "El hombre queda esclavo de la ley, mientras no abandone su estado natural"[17]. El hombre deja de ser esclavo de la ley en el marco de la solidaridad social, transformando las leyes mismas, transformando su propio ser social. En ello, como demostrara Marx, consiste el ideal moral dinámico.

Ante el hombre sublevado contra la estaticidad del ser y la moral estática se abren dos caminos. Uno lleva al ideal moral dinámico. El otro es el camino stirneriano hacia *El individuo y su propiedad.* Es el camino ilusorio de la emancipación. Conduce a la esclavitud. La rebelión nietzscheana contra los cánones morales abre el camino para la apología de la tiranía.

Nietzsche se pronunció contra los cánones estáticos, diciendo que los buenos y los justos constituían un peligro para el futuro. "Dicen y sienten en su corazón: "Sabemos ya qué es el bien y la justicia, los tenemos ya; ¡ay de quiénes buscan aquí!" Y por grave que sea el daño que ocasionen los malos, el daño de los buenos es el daño más dañino. ¡O, hermanos míos! Alguien miró una vez a sus corazones y dijo: "Son fariseos"."[18]

---

[16] *Georg Wilhelm Friedrich Hegel's Werke.* Bd. 6, Berlin, 1840, S. 78.

[17] Ibidem, S. 59.

[18] F. Nietzsche. *Werke,* Bd. VI. Stuttgart, 1921, S. 309-310.

La negación del bien por Nietzsche es la negación absolutizada de los cánones morales estáticos. La negación absolutizada orientada contra *todo* canon moral, comprendidos los dinámicos. La apología de la descomposición del tejido social. Conduce a la apología de lo que se llama "anomia", "conducta antisocial", etc., y de lo que se extiende a todas las formas del individualismo agresivo y aislamiento del hombre de la estructura social, comenzando por la narcomanía (comprendida la embriaguez por la histeria desde la tribuna) y terminando por los crímenes (comprendidos los organizados por el Estado). Esta apología tiene un espectro muy amplio, desde los teóricos que no piensan en absoluto en la encarnación de sus ideas hasta la sentencia de Smerdiakov: "Todo está permitido". Cabe decir que la sonrisa maliciosa de Smerdiakov dirigida a Iván Karamázov no amenaza al teórico que haya dado la espalda a los cánones morales tradicionales, sino al teórico que haya vuelto la espalda a todos los cánones, comprendidos los dinámicos.

¿Cuál es la actividad práctica que corresponde a los principios morales dinámicos?

Aquí conviene volver a la naturaleza como base del aislamiento individual y del mal, o sea, a la concepción de Hegel. El hombre queda esclavo de la naturaleza mientras no compone racionalmente sus procesos. Pero ¿dónde es posible en la naturaleza semejante composición racional?

La naturaleza, como la concebía Hegel, no proporcionaba tales posibilidades. Es el otro ser estable del espíritu en desarrollo. En ella rigen leyes que predeterminan de modo absoluto los procesos individuales y no dependen de la aplicación. Pero la naturaleza concebida por la ciencia clásica del siglo XIX (y en forma mucho más explícita por la ciencia no clásica del siglo XX) permite intervenir racionalmente en sus procesos y –lo que es muy importante– en procesos cada vez más fundamentales.

El Universo, como conjunto de objetos y procesos netamente mecánicos, está subordinado al determinismo laplaceano, a las ecuaciones del movimiento, que condicionan la

situación de cada partícula en cada momento dado. Pero, como se ha dicho ya en el ensayo anterior, las ecuaciones dejan al hombre las *condiciones iniciales*, que son precisamente las que él compone persiguiendo sus fines. El hombre construye presas y ruedas hidráulicas para crear las condiciones iniciales del movimiento del agua. Manipulando con las condiciones iniciales llega a la combinación racional de los procesos determinados. En la época de las máquinas de vapor, su actuación racional determina no sólo los procesos mecánicos, sino también las transformaciones del calor en trabajo mecánico. En la técnica moderna se opera la recomposición racional de los procesos nucleares, convirtiéndose los microprocesos en comienzo de reacciones en cadena macroscópicas: modelo de influjo de acontecimientos individuales sobre los grandes sistemas que los abarcan. A este modelo corresponde la situación del hombre en la producción novísima, cuando las transformaciones radicales del proceso tecnológico a escala de taller, empresa, rama y de la economía nacional en conjunto pasan a ser cada vez más el contenido del trabajo.

La conducta del individuo en la sociedad feudal se determinaba por la tradición, que cobró una base religiosa, por la invariable *civita dei* ("la ciudad de Dios"). Más tarde, la escolástica trató de dar a las tradiciones y dogmas, en particular a los cánones morales, una fundamentación lógica, necesaria para la autoridad teocrática de la Iglesia. El Renacimiento despojó al hombre de los tradicionales cánones escolásticos de la moral; pero el hombre se convirtió en víctima de la tiranía laica de las monarquías absolutas y las repúblicas oligárquicas. La reglamentación autoritaria de la conducta del hombre se vio sustituida por la fuerza espontánea de las leyes estadísticas, que menoscababan los intereses y destinos individuales. Y, por último, en nuestra época el destino del hombre se libera cada vez más de las leyes espontáneas que hacen caso omiso de este destino, convirtiéndose los principios morales en desarrollo dinámico, en cánones del comportamiento individual.

Esta "moralización" de la conducta de los hombres no significa, ni mucho menos, que ésta tenga carácter tradicional, inmóvil e inmutable. El tradicionalismo era resultado de las viejas exigencias moralizadoras, que pretendian tener un carácter apriorístico. Ahora la "moralización" quiere decir algo muy distinto.

Ante todo, libertad de conducta del hombre. Libertad en el sentido que le imprimía Espinosa: la conducta no se desprende de influjos externos, sino de la naturaleza del hombre, de su esencia interna, o sea, es algo *innato* en el hombre. Lo que es innato en el hombre, lo que le diferencia y distingue de la naturaleza, es la sensación de nexo del individuo con la sociedad y el mundo. Pero es precisamente esta sensación la que se nutre del estudio del mundo y lo impulsa. Ahora lo impulsa por la vía no clásica. Como se ha dicho ya reiteradas veces en el presente libro, la ciencia no clásica considera cada elemento del Universo como reflejo de un todo, incluye lo que G. Chew llamara *crisis del elementarismo* y ve en la partícula elemental, en todo objeto "elemental", la médula infinitamente compleja del Cosmos infinitamente complejo.

Pero la función "moralizadora" de la ciencia contemporánea es inseparable de las ideas que se plantea el hombre en su actividad transformadora y de la representación sobre la realización de tales fines.

Así pues, el concepto de optimismo con su componente gnoseológico comprende lo que siempre ha sido atribuido al dominio de la voluntad, al dominio de las finalidades y su realización. Este dominio se extiende a los principios morales, de los que se ha hablado ya en el presente ensayo, y a toda la actividad del hombre realizadora de sus finalidades: la producción, el trabajo y la civilización en conjunto, de los cuales se tratará más adelante.

Pero hay un aspecto más de la vida espiritual del hombre. Este aspecto no se reduce al intelecto y la voluntad. Es el mundo de las emociones. El optimismo, como se lo considera en el presente libro, no se reduce a las emociones,

sino que tiene sentido ontológico, gnoseológico, moral, y como veremos más adelante, económico. Pero, claro está, el optimismo, sea cual fuere su definición, debe conservar su contenido emocional. La evolución del optimismo incluye en medida esencial una postura mutable del intelecto y de la voluntad hacia el mundo de los sentimientos, hacia la vida emocional del hombre.

¿Cómo cambia dicha postura bajo el efecto de la ciencia moderna? ¿Qué introduce de nuevo en el problema de Logos y Eros?

La respuesta a ese interrogante ilustra la función señalada reiteradas veces de la ciencia no clásica: esta función hace más evidente aún la evolución histórica de la ciencia clásica y el racionalismo clásico. En el presente caso, la retrospección no clásica permite denotar con mayor relieve la conexión entre el optimismo y el racionalismo.

El racionalismo es la filosofía del optimismo en la medida que incluye el componente sensualista, que combina el orden macroscópico con la autonomía de los microobjetos, la lógica con su acompañamiento emocional. En la medida en que es la filosofía del ser. Como se ha dicho ya en el primer ensayo de este libro, el ser se caracteriza por el ordenamiento objetivo, la entropía negativa y la *ratio* objetiva. En esta afirmación no se trata de la entelequia aristoteliana, del demiurgo razonable del mundo, del "alma del mundo". Simplemente en el mundo existen sistemas macroscópicos reales que lo hacen concebible por la razón, pero existen antes del mundo e independientemente del mismo. Einstein consideraba precisamente esta comprensibilidad del mundo su principal enigma (*lo más incomprensible en el mundo consiste en que es comprensible*), y en efecto, ella refleja la jerarquía infinitamente compleja de las estructuras del Universo.

La lógica, la razón, todo lo que encierra el concepto de *Logos* encuentra su apoyo objetivo en el conocimiento y la transformación de la naturaleza. Encuentran su apoyo también los ideales morales del hombre. ¿Y sus emociones, sus sentimientos, todo lo que Herbert Marcuse atribuye a *Eros*?

¿Cuál es la actitud de este Eros hacia el *amor intellectualis* de Espinosa, hacia el éxtasis emocional que acompaña el conocimiento de la verdad, la comprensión del mundo?

En la ciencia no clásica, el *amor intellectualis* adquirió un carácter muy pletórico y complejo. No se reduce ahora al estado constantemente animado, claro, pero, en esencia unicolor del intelecto sumergido en las búsquedas de la sustancia del mundo, sino que incluye una gama de sentimientos claros y sombríos, satisfacción, desengaños, nuevas ideas, impresiones estéticas, tristeza, alegría, compasión, dudas, seguridad recobrada, esperanzas, sus pérdidas, aparición de nuevas esperanzas, con la particularidad de que toda esta rica vida emocional esté compenetrada indisolublemente con la sociedad y la naturaleza. Nunca, por lo visto, la ciencia daba tan pocos motivos como ahora para confrontar a Eros y Logos; esta confrontación nunca ha sido tan superficial, tan distante de la realidad y no obstante (pero, quizás, precisamente por eso) tan frecuente.

La evolución de la ciencia siempre se ha vinculado con las emociones, con el éxtasis emocional, esto la hacía ciencia humana, que no podía desarrollarse sin este nexo. Lenin decía que "sin "emociones humanas" nunca ha habido, hay ni puede haber *búsqueda* humana de la verdad"[19].

Lenin subraya: sin emociones no hay *búsqueda* de la verdad. A diferencia de la verdad misma, de su contenido y de los resultados de las búsquedas, estas búsquedas de la verdad, el desarrollo y la modificación de la verdad, el paso a una verdad más exacta, concreta y fundamental y la transformación del cuadro del mundo son inseparables de las emociones.

Si la verdad absoluta es una serie infinita de reflejos cada vez más exactos del ser, una serie infinita de verdades relativas, de nuevas y nuevas adiciones a la representación verídica del mundo, cada resultado de las búsquedas científicas, cada etapa consolidada y positiva de la aproximación

[19] V. I. Lenin. *O.C.*, t. 25, pág. 112.

del cuadro del mundo a su original inagotable posee, además de su contenido positivo, un valor dinámico, problemas irresueltos y nuevos estímulos para el desarrollo sucesivo, para las búsquedas sucesivas, la especificación y concretación sucesivas. El valor dinámico de los resultados de la ciencia no clásica es evidente y tangible. Por eso mismo, los resultados de la ciencia poseen, si no los criterios emocionales de la veracidad, sí evidentes estímulos emocionales, evidente acompañamiento emocional.

El profundo y efectivo contenido emocional del conocimiento contemporáneo es muy esencial para la solución (¡no sólo lógica, sino también sicológica!) de uno de los problemas eternos de la filosofía: el problema de la muerte y la inmortalidad del hombre. Pasamos ahora precisamente a este problema. Se tratará de la inmortalidad como caracterización local del ser y la conciencia del hombre, lo mismo que en la cosmología, la infinitud del espacio caracteriza los procesos locales, la situación física real en "aquí-ahora", caracteriza el contenido de "aquí-ahora", caracteriza la intensidad de los procesos físicos que transcurren aquí y ahora.

OPTIMISMO E INMORTALIDAD

Al optimismo se oponen las sombras pesimistas de la muerte. De la muerte del mundo: la naturaleza, si se la priva de uno de los componentes del ser, de su *ratio*, su estructura macroscópica o del otro polo –existencia individual de los elementos autónomos–, es un fantasma. De la muerte del conocimiento, su agotamiento. Y, por último, de la muerte del hombre como tal.

¿Ahuyenta a esta última sombra pesimista la fórmula de Epicuro? Recordémosla. En la carta a Menagio, Epicuro dice que el hombre nunca se encuentra con la muerte: "Cuando existimos nosotros, la muerte no existe; cuando existe la muerte, no existimos nosotros"[20].

[20] Véase Lucrecio. *Sobre la naturaleza de las cosas*, ed. en ruso, t. 2. *Fragmentos de Epicuro*. Moscú, 1947, págs. 591-593.

¿Por qué no liberó a la humanidad del temor a la muerte esta fórmula lógicamente irreprochable?

Prestemos atención a su carácter negativo y estático. Todo lo bueno y lo malo, dice Epicuro, estriba en la sensación, y la muerte es la ausencia de sensaciones. En el fondo, tal fórmula no es optimista ni mucho menos, sólo es antipesimista. En ella, a la percepción pesimista de la vida, a la sensación de su carácter perecedero, al temor al no-ser no se opone una sensación optimista activa y positiva que pueda no sólo desacreditar lógicamente el temor a la muerte, sino expulsarlo de la conciencia. La filosofía de Epicuro, en conjunto, es negativa y estática. La felicidad radica en la falta de aspiraciones vanas. Semejante armonía vital corresponde al ideal estático de la armonía cósmica. La sensación optimista que puede liberar al hombre del temor a la muerte es una sensación del carácter pletórico del ser. Así pues, volvemos a la definición inicial del optimismo.

En su filosofía natural, Epicuro aspira a afirmar el ser llenando la naturaleza de desviaciones espontáneas de átomos. Pero estas desviaciones siguen siendo acontecimientos netamente locales, que no cambian el mundo macroscópico. Las desviaciones espontáneas de los átomos conservan la libertad en la naturaleza y se oponen al fatalismo: el "poder de los físicos", la autocracia de las leyes macroscópicas. Pero es una libertad local, negativa; la desviación individual no es punto de partida de la reacción en cadena, no se opone al poder de las leyes macroscópicas ni las cambia, sino apenas limita este poder.

En la filosofía de Epicuro, el hombre se libera del temor al no-ser futuro. En su existencia local no debe pensar en lo que parece amenazarla. En realidad, la muerte no amenaza al hombre, que vive ahora, vive en los términos temporales limitados de su existencia. El no-ser no le asusta, pues está más allá de la existencia individual local: donde existe la muerte, no existimos nosotros. Este "nosotros" y este "existimos" no se extienden a un futuro infinito. La soledad en el espacio y el tiempo, que infundía tanto horror a Pascal, parece

ser refugio para el filósofo antiguo, que no quiere pensar en el tiempo infinito transcurrido antes de él ni en el tiempo infinito que transcurrirá después de él. Para él tienen igual valor. Epicuro queda perplejo: ¿por qué tiene miedo el hombre al no-ser infinito futuro y es indiferente al ser infinito pasado? Y rechaza lo uno y lo otro como algo ajeno al hombre. El hombre se encierra en "aquí", en los límites de la Tierra, y en el "ahora" que abarca su breve vida. Pero es una refutación *lógica* del temor a la muerte que, por lo visto, no era sicológicamente activa, no se realizaba en la sicología del hombre ya en la Antigüedad. Los contemporáneos de Epicuro sentían, quizás, más bien no tanto la liberación del temor a la muerte cuanto el paso de este temor a una tristeza silenciosa y resignada, que llama a una "Odisea".

En Pascal, la representación sobre el espacio infinito y el tiempo infinito, la salida mental del marco de la existencia local convierte la vida en un instante; la infinitud convierte la existencia finita en cero, en nada. Pero, en fin de cuentas, precisamente la exteriorización de la vida humana destruye el temor a la muerte en la filosofía de la Edad Moderna. En las concepciones optimistas del Renacimiento y el Barroco, la infinitud no se halla, ni mucho menos, al margen de la existencia individual, local y finita. La ciencia del siglo XVII considera el punto como comienzo de la línea eventual y, en principio, infinita, y el instante como comienzo del proceso infinito. Para el hombre de la Edad Moderna, el futuro y el pasado no tienen igual valor, el tiempo no es simétrico, el futuro es la palestra de la exteriorización del individuo saturada de resultados de la actuación del hombre. Es una sensación activa, es compenetración del ser local con lo eventual. Para Epicuro no existe el porvenir sin contenido sensual; la muerte es la *ausencia de sensaciones*, por eso no existe, es ajena al hombre, que no se encuentra con ella. Para la filosofía optimista de la Edad Moderna, el futuro colma tanto el presente, se convierte en componente de su ser en tal grado que el hombre no puede ya excluirse del

futuro. Si el conocimiento y la actividad dirigidos al futuro, a la infinitud se hacen contenido de la existencia humana, el contenido de este conocimiento y esta actividad no se interrumpe con la muerte. Surge un nuevo concepto de inmortalidad: el hombre siente la infinitud de la actividad y el conocimiento como inmortalidad de su personalidad. El optimismo estático de Epicuro se basa en la negación de la inmortalidad, la vida está limitada por el marco de la vida individual y esta última no incluye el pronóstico ni la retrospección, sino que es cerrada y está aislada del mundo infinito en el espacio y el tiempo. El optimismo dinámico de la Edad Moderna (se opone lógica y sicológicamente al temor a la muerte) no aísla la vida individual, sino que amplía su componente creador, incluye en ella la retrospección y –lo que es particularmente importante– el pronóstico, uniendo el pronóstico, el futuro y el futuro ilimitado e infinito con la finalidad del ser individual.

Como se ha dicho ya, esta tendencia se observa en la filosofía del Renacimiento. Para Giordano Bruno, lo individual es reflejo de un todo infinito. En el siglo XVII, Espinosa incluye en esta concepción un nuevo elemento de gran importancia. Dice: "El hombre libre en ninguna cosa piensa menos que en la muerte; y su sabiduría no estriba en la meditación sobre la muerte, sino en la meditación sobre la vida"[21]. La libertad se convierte en componente necesario del ser y es, precisamente, la que libera al hombre del temor a la muerte. Para Espinosa, el mundo infinito no es ya una amenaza a lo mortal: el contenido de la vida mortal refleja un proceso infinito.

Pero en Espinosa, la libertad consiste en que la conducta del hombre, lo mismo que la de cada partícula, no es resultado forzoso de influencias externas, sino revelación de una esencia interna inmanente. Esta misma esencia inmanente es el reflejo de la armonía de un todo, de la armonía cósmica del mundo infinito. Espinosa no conoce el proceso inverso:

[21] *Spinoza's Ethics.* London, 1922, p. 187.

el influjo de lo finito, lo individual, lo limitado, lo mortal sobre el mundo circundante infinito. La idea del conocimiento infinito del mundo y de su transformación infinita rebasa el marco de la filosofía del siglo XVII y, luego, de la filosofía clásica de los siglos XVIII y XIX.

Ahora cabe mencionar el papel de la ciencia no clásica en el desarrollo de una concepción nueva, activa, revolucionaria y positiva de la libertad.

El "hombre libre" de Espinosa no se opone a la naturaleza. El mundo de Espinosa –mundo causal, determinado– incluye al hombre, que es libre sólo porque su conducta, determinada por entero, dimana de una esencia inmanente, refleja el mundo causal en conjunto. La ciencia no clásica también dibuja el cuadro del mundo causal, pero en éste rigen las leyes específicas del micromundo que conducen a la infracción de las leyes macroscópicas. Mas, a diferencia de la atomística de Epicuro, el proceso microscópico produce consecuencias macroscópicas. La imagen de la reacción macroscópica en cadena provocada por el proceso microscópico es la misma analogía legítima para la representación contemporánea sobre la libertad del individuo, que a los ojos de Epicuro y Lucrecio eran las desviaciones espontáneas de los átomos como analogía y garantía física de liberación del hombre del fatalismo, del "poder de los físicos". Aquí, lo mismo que en Epicuro, no se trata únicamente de la analogía: la ciencia no clásica moderna, con su transformación radical prácticamente ininterrumpida de las bases de la actividad humana, conduce a la posibilidad de que la existencia individual influya sobre el ser macroscópico en conjunto. Aquí se trata del tránsito al sostén más importante de la filosofía optimista del hombre, a su actuación racional, a la transformación racional del mundo.

La transformación del mundo cambia la conciencia del hombre, no sólo desacreditando, sino expulsando sicológicamente el temor a la muerte junto con el temor a la infinitud, al interminable vacío del espacio-tiempo que rodea el "aquí-ahora". Volvamos a lo expuesto al final del ensayo prece-

dente: a la representación local sobre la inmortalidad y a la eliminación local del temor a la muerte. Actualmente, la física, la astrofísica y la cosmología permiten no sólo concretar la idea de Riemann sobre la infinitud como definición métrica local, sino también imprimirle una mayor capacidad de figurar en calidad de analogía, es decir, de pasar a otros campos y explicar correlaciones distintas por su naturaleza. Como analogía aplicada al problema de la inmortalidad, la concepción de Riemann puede explicar algo sustancial.

Anotemos, ante todo, que Riemann opone la *infinitud* como propiedad métrica local a la *inmensidad* como propiedad de la extensión[22]. La inmensidad se postula en todos los casos. Al contrario, la infinitud es propia del espacio en el caso de la constante curvatura nula o negativa. Si atribuimos al espacio la misma curvatura positiva en cada punto, el espacio es finito: prolongando ilimitadamente las líneas más breves, obtenemos una esfera en tal espacio.

Señalemos una premisa esencial de la concepción de Riemann: la infinitud y la finitud pasan a ser definiciones locales, cuando proyectamos las correlaciones geométricas locales en la *inmensidad* que comienza a figurar de por sí como propiedad local. Atribuimos a lo que existe *aquí* y *ahora* la capacidad de extenderse ilimitadamente.

Si todo ese esquema se emplea como analogía que explica el problema de la muerte y la inmortalidad, *esta última* corresponde a la *inmensidad.* En la definición de la vida, en la definición de su "aquí-ahora" entra la negación consustancial de los límites absurdos. De los límites del conocimiento y los límites de la transformación del mundo. Así pues, el optimismo gnoseológico (no sólo es gnoseológico, sino que incluye la perspectiva de la transformación ilimitada del mundo) se convierte en base de la superación real de los espectros del no-ser más tenebrosos y, al parecer, más fundamentales e inevitables.

Cuando cada elemento local, cada "aquí-ahora" de la

[22] B. Riemann. *Über die Hipothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen.* Berlin, 1923, S. 18.

vida humana está dotado de salida a algo más amplio e ilimitado en principio, es precisamente lo que realiza las siguientes líneas de Feurbach: "Cada instante apuras la taza de la inmortalidad, que vuelve a llenarse como la copa de Oberón". Esta aproximación un tanto inesperada de la imagen romántica con la concepción geométrica, de la "copa de Oberón" con las líneas del conocido discruso de Riemann, es típica del pensamiento no clásico contemporáneo. Sus sintetizaciones, comprendidas las más fundamentales, son propias de cada paso de la evolución de la ciencia y su acompañante inseparable actual: la evolución de la civilización en conjunto. Cada acto creador lleva en sí, como contenido necesario, la salida de los límites locales y el paso a un todo ilimitado en principio: la "copa de Oberón". En la segunda parte del presente libro se examinarán algunos eslabones concretos del progreso tecnocientífico contemporáneo, para los cuales es característica tal exteriorización, ampliación, apelación a principios más fundamentales y modificación de los mismos. Esta apelación y esta salida corresponden a la *perfección interna* de las concepciones científicas. El progreso tecnocientífico contemporáneo se distingue por la extensión de este criterio a las investigaciones aplicadas. No sólo los resultados paradógicos del experimento, episódicos, separados unos de otros por largos intervalos, sino también una serie prácticamente ininterrumpida de resultados aplicados están vinculados con los cambios del cuadro del mundo que son fundamentales por sus tendencias. Esto aumenta el dinamismo de la vida contemporánea y, con ello, la compenetración de la conciencia de los hombres con los propósitos que amplían el "aquí-ahora". Semejantes designios encierran precisamente el optimismo contemporáneo. Ellos revisten un carácter activo y corresponden a la ampliación y sintetización de lo que se ha llamado *noozonas*.

El temor a la muerte no es una sensación del no-ser futuro. No puede haber tal sensación, y en este sentido la fórmula de Epicuro es intachable. El temor a la muerte es una sensación de *mortalidad*, una sensación del carácter de

"aquí-ahora" perecedero e insignificante en comparación con el vacío circundante. El temor a la muerte es así cuando se transforma en apreciación pesimista del ser, en filosofía pesimista, como ocurrió, digamos, con Pascal. El temor a la muerte es así también cuando lo elimina la intervención activa del hombre en el proceso mundial, en la naturaleza y en la historia.

Como se ha dicho al comienzo de este ensayo, la ciencia clásica se las arregló con la desmaterialización del "aquí-ahora", considerándolo en movimiento. El presente es una faceta nula por su duración entre el pasado no existente ya y el futuro no existente aún. Pero el cálculo diferencial y la representación diferencial del movimiento le atribuyeron al objeto "ahora", nulo por su duración, velocidad y aceleración. En el siglo XVII, los predicados diferenciales sustituyeron (y, en parte, concretizaron, transformaron y privaron de forma mística) el "alma del mundo", que en el siglo precedente (Bruno), encarnándose en objetos finitos, los salvaba de la desmaterialización ante la infinitud. De ahí el nexo de la dinámica del siglo XVII con las tendencias optimistas de la cosmovisión de Galileo.

Actualmente, todo eso se repite a un nivel distinto. Trátase de la transformación activa del mundo, del movimiento codificado en "aquí-ahora" en calidad de *fin*. La realización del fin, la exteriorización de "aquí-ahora", imprime a este último concepto el ser, liberando la conciencia del horror propiamente pesimista y desesperanzado ante el no-ser inminente. Pero, a diferencia de la fórmula de Epicuro que encierra los intereses del hombre en el marco de su existencia individual (mejor dicho, a diferencia del efecto atribuido por Epicuro a su fórmula), la exteriorización no libera a la conciencia de la tristeza. La conciencia que transforma el mundo está colmada de lo general, de lo inmortal y de lo que se proyecta en el futuro. Mas la vida individual no se reduce a la realización de lo general, es irrepetible. En la tristeza provocada por su cesación estriba la conciencia de la irrepetibilidad y la soberanía del ser individual.

TRABAJO Y LIBERTAD

El trabajo pasó a ser un concepto gnoseológico y, en general, filosófico sólo en la segunda mitad del siglo XIX, sólo en las obras de Marx. Al contrario, el concepto de libertad se discutía animadamente ya en la literatura filosófica en la Edad Media; y devino, en las obras de Espinosa, concepto filosófico fundamental. Pero el sentido de este concepto cambió cuando se incorporó el concepto de trabajo al número de categorías iniciales de la doctrina del ser y el conocimiento.

Espinosa vincula estrechamente el problema de la libertad con el de la esencia. Si la conducta del sujeto se determina por su esencia (lo mismo que las propiedades de la imagen geométrica se deducen de su naturaleza misma), y no por impulsos externos, en dicha conducta está encarnada la libertad del sujeto. De ahí, naturalmente, es fácil deducir la libertad hegeliana como necesidad conocida.

El conocimiento experimental del mundo unifica los criterios de la libertad y la necesidad. El experimento parte de la necesidad del resultado previsible del pronóstico, de la representación sobre el efecto inevitable de las modificaciones introducidas conscientemente en los procesos naturales. Pero estas modificaciones son libres en el sentido de que deben liberar la esencia de lo no esencial, revelar el curso de los fenómenos que expresan la esencia, penetrar en esta última, esto es, demostrar la libertad reinante en el mundo, libertad en la acepción espinosiana, libertad de revelación de la esencia.

Lo que en el experimento figura como pronóstico, pasa a ser finalidad del trabajo productivo. Si un experimento dado repite el anterior, que dio un resultado verídico, esto significa que no cumple ya una tarea cognoscitiva, o no sólo cognoscitiva, esto significa que los procesos que transcurren en las mismas condiciones dadas no poseen valor cognoscitivo sino inmediato, y no se los valora como ejemplo que prueba algunas regularidades generales, sino según su con-

tenido, independientemente de su comunidad. Si a un experimento se agregan muchos otros iguales, no aumenta el valor de su resultado. Si a un acto de producción se añaden muchos actos idénticos, el valor del resultado crece proporcionalmente al número de estos actos. En el primer caso, el resultado es la información sobre la regularidad general, cuyo valor no aumenta en el curso de la repetición. En el segundo caso, la repetición aumenta la suma de elementos racionalmente compuestos de la naturaleza. En realidad, la repetición absolutamente exacta es inalcanzable, y los actos de producción no pierden cierto valor cognoscitivo. Pero el trabajo productivo de todos modos se diferencia del experimento por la veracidad del resultado más alta, conocida de antemano. Si por optimismo se entiende la correlación entre el pronóstico y el fin y se toma en consideración que la finalidad del trabajo se realiza con gran veracidad en el proceso de trabajo, puede decirse que el optimismo, la gran veracidad de la realización de la finalidad, es una definición característica del trabajo productivo.

Respectivamente cambia el concepto de libertad. El sentido inicial de este concepto es ontológico. La libertad se opone a la necesidad y caracteriza la necesidad *esencial*, la dependencia de la conducta del sujeto de su naturaleza, de sus determinaciones inmanentes. Luego la libertad es también un concepto gnoseológico: es la necesidad *conocida*. Y, por último, existe la libertad activa, la libertad de influir sobre el mundo, de influir racionalmente sobre el curso de los procesos en la naturaleza, y este influjo es real, conduciendo con gran probabilidad, o prácticamente con certeza, a los resultados planteados de antemano como fin.

Ahora podemos esbozar la evolución del optimismo en su dependencia de la actividad de la razón, que no sólo descubre en el Universo el orden, la entropía negativa, sino que los introduce en la naturaleza.

La primera transformación de la esencia misma del optimismo como conclusión de la representación científica del mundo se operó en los siglos XVI y XVII. Ya se dijo que

en la Edad Media el optimismo tomaba de la ciencia, como sostén principal, la idea de la perfección consumada del mundo, de su ordenamiento estático, acabado e inmóvil. La armonía inconmovible del Universo, la estabilidad firme de los institutos y las normas sociales hacían creer en la sensatez del ser individual. La cultura no oficial, "carnavalesca", bebía su optimismo de la comprensibilidad sensual del mundo, del carácter multicolor, diverso e inesperado de sus detalles. Luego apareció la concepción del mundo sin el esquema estático aristotélico de los lugares naturales. Este mundo era infinito en Bruno. Galileo trasladó el centro de gravedad del problema a la complejidad infinita del mundo, a la existencia de los elementos infinitamente pequeños del Universo. El paso de la cultura del Renacimiento a la del Barroco estuvo vinculado a la introducción del concepto de infinitud en la conciencia de los hombres. Este concepto produjo la sensación pesimista de que el hombre estaba perdido en los espacios infinitos del mundo y de que su vida era insignificante en comparación con el ser infinito de la naturaleza. Desaparecía el sentido de los dos polos: la vida humana, respecto del Universo, lucía como un destello instantáneo de la conciencia, y por eso, carente de sentido. Pareciendo que carecía también de sentido el ser infinito, privado de una estructura ideal estable en el espíritu del sistema aristotélico de los lugares naturales. Nadie expresó esta sensación con tanta fuerza como Pascal. Dicha nota pesimista se ha recordado ya varias veces. Es hora de citarla en la forma que recibió en los *Pensamientos* de Pascal.

"Yo no sé –escribe Pascal– quién me introdujo en el mundo, no sé qué es el mundo ni qué soy yo mismo; mi ignorancia sobre todas las cosas es terrible; yo no sé que es mi cuerpo, qué son mis sentimientos, mi alma y aquella parte de mí que da origen a estos pensamientos, que reflexiona sobre todo lo existente y sobre sí misma y no se conoce a sí misma ni conoce todo lo demás"[23].

[23] B. Pascal. *Pensées.* Paris, 1962, p. 159-160.

Pascal deplora el carácter limitado del ser humano en el tiempo, lamenta la muerte inevitable y próxima de éste, y su limitación en el espacio infinito y en el tiempo infinito. "Veo –continúa él– los espantosos espacios del Universo que me envuelven, y me siento atado a un pedacito de esta vasta extensión, pero no concibo por qué mi lugar es éste, y no otro, ni por qué este tiempo que se me dio para vivir coincide precisamente con este y no con otro momento de la eternidad, que me precedió y que seguirá después de mí. Por todas partes no veo más que infinitudes, que me envuelven como un átomo, como una sombra que no dura más que un instante, desapareciendo para no volver. Todo lo que sé es que pronto tengo que morir, pero lo que más me resulta incomprensible es esta muerte misma que no puedo evitar"[24].

En el ensayo anterior se ha dicho ya que esto no es tanto temor a la muerte como a la infinitud del espacio y el tiempo, al Universo infinito; que no se interesa por el hombre con su vida infinitamente breve y su experiencia sensual infinitamente pequeña. Es un sentimiento de perdición en el infinito y de insignificancia de la vida en comparación con el infinito. Este sentimiento se desprende no sólo de la infinitud del tiempo, que sigue corriendo después de la muerte de uno, sino también de la infinitud del tiempo pasado. El pesimismo del siglo XVII teme lo uno y lo otro. Repitamos una vez más que no es temor siquiera, sino un sentimiento abrumador de la imposibilidad de abarcar la infinitud, de acercarse a ella y comprenderla. Precisamente de comprender. Aquí, en esta representación pesimista, se encierra la aspiración fundamental, propia de los siglos XVI y XVII, de extender el pensamiento racional a la naturaleza infinita. Es la tragedia del racionalismo, del racionalismo del siglo XVII, del racionalismo clásico. El siglo XV veía en el arte, precisamente en el arte, la superación de la soledad, insignificancia y mortalidad del hombre. La belleza vincula

[24] Ibídem.

al hombre con el mundo infinito, encarnando el ser infinito en lo finito y limitado. El siglo XVI, en la persona de Giordano Bruno, sentía un *heroico furore,* un entusiasmo heroico, un ímpetu emocional e intelectual hacia el mundo infinito, hacia su esencia racional y comprensible. En el siglo XVII, a la sensación de la soledad y la muerte se agrega otro componente del pesimismo. En las líneas citadas de Pascal suena, ante todo, la sensación trágica de lo incomprensible que resulta el mundo infinito para la razón humana. Pero esta sensación expresa no sólo una apreciación pesimista, sino también un ahhelo de entender el mundo infinito.

Galileo pensaba ya en la comprensión del mundo infinito, en el reflejo del mundo infinito en la razón finita del hombre. La teoría del conocimiento de Galileo incluye el concepto de conocimiento absoluto del mundo: conocimiento de las correlaciones matemáticas, que reflejan en lo infinitamente pequeño las leyes, la estructura y el ordenamiento del mundo infinito. El hombre conoce extensivamente una parte infinitamente pequeña del mundo, pero en cuanto a la intensidad, según expresión de Galileo, su conocimiento es igual al divino, en otros términos, la razón del hombre abarca los espacios infinitos del Universo. Veámos el conocido credo gnoseológico de Galileo: "Extensivamente, esto es, con respecto a una multitud de objetos inteligibles, que son una infinidad, el conocimiento humano es como nada, aunque conozca miles de verdades, pues mil en relación a la infinidad es cero. Pero si el conocimiento humano se toma intensivamente, en cuanto este término denota el conocimiento perfecto de alguna verdad, afirmo que el intelecto humano conoce algunas verdades con la perfección y certidumbre absoluta que tiene la naturaleza misma. Tales son las ciencias matemáticas puras, la geometría y la aritmética, aunque el intelecto divino conozca en ellas infinitamente más verdades, pues las abarca todas. Pero en aquellas pocas verdades que ha comprendido el intelecto humano, pienso que su conocimiento, en cuanto a certidumbre objetiva, es igual al divino, ya que llega a la comprensión

de que son necesarias, y el grado supremo de la certeza no existe"[25].

¿Cómo superan, pues, las ciencias matemáticas el carácter limitado del conocimiento humano, alcanzando la certeza en el conocimiento de la naturaleza?

La concepción de Galileo acerca de lleno el pensamiento científico a una representación nueva sobre el nexo entre lo finito y lo infinito. El cálculo diferencial y la representación diferencial sobre el movimiento consideran lo finito limitado, individual, singular, como algo que posee ser infinito. Infinito en potencia. La relación entre el incremento infinitamente pequeño del camino y el incremento infinitamente pequeño del tiempo es la velocidad de la partícula, es decir, su ser futuro, contenido como lo eventual en un punto dado. En este momento, la partícula se supedita a la ley diferencial. En ella, en su conducta, está encarnada la ley que caracteriza el ser infinito. En su vida limitada el hombre conoce lo infinito. La personalidad rebasa su marco, se objetiva. Este proceso de objetivarse se convierte en base del nuevo optimismo. No es ya la aproximación al ideal estático, sino la influencia dinámica sobre el mundo la que infunde al hombre la apreciación optimista de sí mismo y del Universo en su conjunto. Mas por ahora no se trata aún de la transformación del mundo infinito, sino únicamente de su conocimiento. El optimismo de los siglos XVII y XVIII es el optimismo del conocimiento. Los filósofos apenas conocen el mundo. En lo finito, el hombre *conoce* el reflejo del mundo infinito.

En toda la doctrina de Marx —en la ontología, la gnoseología, la sociología y las concepciones económicas— se demuestra que el conocimiento del mundo es inseparable de su transformación. De este modo, la base del nuevo optimismo, creador y dinámico, pasa a ser el influjo racional del hombre sobre la naturaleza, o sea, el trabajo. No es ya el

---

[25] G. Galilei. *Obras escogidas*, ed. en ruso, t. 2, Moscú, 1964, pág. 201.

abandono del mundo para pasar al campo del pensamiento puro lo que devuelve al mundo su *ratio* y al hombre su optimismo. El hombre racionaliza el mundo, aumenta su entropía negativa, crea las noozonas en el mundo, y en ello consiste su libertad.

Es el punto de partida para concebir el mundo objetivo. En la declaración pesimista precitada de Pascal, el temor al no-ser se entrelaza con el temor al ser infinito. El ser infinito *no conocido*. "Mi ignorancia sobre todas las cosas es terrible...", dice Pascal. Es una combinación muy elocuente de conceptos: "terrible ignorancia", la ignorancia como fuente de temor al no-ser y al ser infinito. Galileo no conocía temor, pues comprendía la certeza absoluta intensiva del conocimiento. En lo infinitamente pequeño se refleja auténticamente lo infinitamente grande. Y este optimismo gnoseológico disipa los fantasmas pesimistas que envolvían a Pascal.

EL PROBLEMA DE LA VEJEZ

La creación de noozonas, el aumento de la entropía negativa y la concepción de la *ratio* objetiva del mundo a raíz de tal actividad racional devienen poco a poco contenido del trabajo. Este pasa a una transformación cada vez más radical de los procesos naturales, a su composición racional. Pasa del cambio de las posiciones de los objetos físicos al cambio de velocidades, al cambio de energías, al cambio de las frecuencias de tal cambio, de las frecuencias de las oscilaciones de los campos alternativos, al cambio de masas y hasta de masas en reposo. Respectivamente, en una ligazón estrecha con la evolución mencionada, en el cuadro del mundo cambian los principios cada vez más fundamentales y generales. Hemos visto ya cómo desacredita y hace huir del hombre las sombras pesimistas esta compenetración del trabajo y de la conciencia con las tareas dinámicas. Se trataba de la muerte y del temor a ella. Ahora tenemos que tratar

el problema del fantasma fatal de la degradación de las fuerzas físicas y espirituales del hombre, degradación larga, que precede a la muerte y conduce a ella. ¿Qué es lo que cambian en este campo la novísima ciencia no clásica y la novísima revolución tecnocientífica, a cuya importancia para el sentir optimista del mundo está consagrado el presente libro?

¿Fundamenta la ciencia moderna el optimismo gerontológico? Ella llena la "copa de Oberón" con la bebida de la inmortalidad. Pero ¿no se seca esta bebida? ¿Se conserva en la vejez la activa función transformadora del hombre? ¿Cambia en el contexto de la nueva ciencia el concepto tradicional de vejez?

Aquí se ha de adelantar un tanto tocando cuestiones que se estudian en las partes segunda y tercera del libro, ante todo las cuestiones de biología molecular, la transformación del carácter del trabajo debido a la cibernética y la aplicación de la ciencia no clásica y, por último, las cuestiones de ecología. A nuestro juicio, todo ello debe cambiar radicalmente el contenido mismo del concepto de vejez como categoría fisiológica y económico-demográfica.

La concepción de la vejez como degradación y, en fin de cuentas, cesación de la enérgica actividad del individuo tuvo una manifestación en extremo aguda, profundamente personal y a la vez extrapersonal en 1911, en la conocida decisión de Paul y Laura Lafargue de abandonar la vida, cuando amenazaba disminuirse la participación activa en ella. Esta decisión no podía convertirse en principio universal y no pretendía a ello: la vejez de por sí jamás interrumpió la influencia activa sobre el mundo, pues esta influencia siempre se apoya en cierta tradición e inmutabilidad, en una tendencia continua, y exige una experiencia y un gran volumen de impresiones y conocimientos acumulados, que son prerrogativas de la vejez. Pero la ciencia no clásica promete introducir cambios radicales en este problema.

Estos cambios contradicen en medida considerable la concepción que puso I. Méchnikov en la base de sus *Estu-*

dios del optimismo. Dicha concepción opone al temor a la muerte el "instinto de la muerte": el deseo natural de tranquilidad después de una vida larga y activa. A juicio de Méchnikov, el temor a la muerte es resultado de que en la mayoría de los casos los hombres no llegan a vivir hasta la aparición de este deseo; la vida normal, la ortobiosis debe asegurar la longevidad y el "instinto de la muerte".

Pero el "instinto de la muerte" se vincula, por lo visto, con el hecho de que durante largo tiempo van extinguiéndose el interés por la vida, la energía del temperamento y el potencial de su transformación. Las tendencias de la civilización contemporánea permiten prever no la aproximación asintótica de tal interés, temperamento y potencial a la línea cero, sino su crecimiento y la transformación de la muerte no en reposo apetecido ("instinto de la muerte"), sino en algo hostil al hombre, en un adversario contra el cual lucha la sociedad, considerando la prolongación máxima posible de la vida como finalidad esencial de sus esfuerzos laborales e intelectuales.

¿Cómo están ligadas tales tendencias con el carácter no clásico de la ciencia moderna?

En la gerontología contemporánea se expone a veces la idea de la degradación por la edad, codificada en la estructura de la molécula de la sustancia viva. Pero de ser así, la ciencia, por lo visto, avanza hacia la posibilidad real de influir en el código hereditario. Es importante subrayar que tal posibilidad está vinculada con procesos esencialmente no clásicos. Por ejemplo, la genética de radiación incluye la influencia de radiaciones cuya naturaleza se pone de manifiesto a la luz de la física cuántica. De la delimitación entre los elementos clásicos y cuánticos de la biología molecular se tratará en el capítulo *Biología molecular.* Pero ya ahora conviene señalar la conexión característica entre el optimismo dinámico, transformador y activo y las representaciones no clásicas.

Esta conexión es más evidente al tratarse de la liquidación de varias enfermedades que acortan la duración de vida

y el período en que el hombre es apto para el trabajo. Y más evidente todavía, al analizar el efecto económico general de la ciencia al determinar las bases científicas del ascenso del nivel de consumo, ascenso que se observa ya y que está proyectado para fines de nuestro siglo. Menos evidente es el nexo de la ciencia moderna con la racionalización y el saneamiento del ambiente ecológico. Actualmente está al orden del día el aspecto negativo del problema, la necesidad de proteger los bosques, las aguas y el aire contra la contaminación. Pero esto es sólo una parte, un comienzo de la racionalización radical del medio ambiente del hombre como condición del aumento radical de la duración y plenitud de su vida.

Estas dos definiciones –duración y plenitud, prolongación extensiva e intensiva de la vida humana– apuntan a la modificación del carácter y contenido del trabajo. Como se ha dicho ya (y esto se explicará con más detalles en las partes segunda y tercera de este libro), la aplicación de la ciencia no clásica significa el paso del trabajo a nuevas funciones, cada vez más generales y fundamentales, dinámicas y reconstructoras de la producción. Semejante evolución del trabajo es inseparable de la evolución de la ciencia en la cual los principios fundamentales se hacen plásticos, mutables y dependientes de la práctica experimental y de producción. Esta evolución es análoga en cierto grado a los virajes de la ciencia, de los que se ha tratado ya: a los cambios de la representación sobre la *ratio* del mundo, a la percepción como armonía mundial, no ya de la constancia de lugares (Aristóteles), sino de la constancia de velocidades (*Diálogo* de Galileo), aceleraciones (*Coloquios* de Galileo), masas (*Principios* newtonianos), masas en reposo, etc. En el contenido del trabajo, el paso análogo a un invariante nuevo, a una nueva identidad ordenadora, también es inseparable de la comprobación de la infracción del invariante viejo, de la identidad vieja. En la ciencia no clásica contemporánea y en la producción contemporánea, que la encarna, este paso se hace prácticamente ininterrumpido, y en esto radica la fuente de su

influjo específico sobre el carácter y el papel de la "vejez" en la civilización actual.

La palabra "vejez" está entre comillas no porque la vejez desaparezca (esto no ocurre), sino porque cambian radicalmente el concepto de vejez, su carácter y papel. Parece natural la distribución de funciones entre generaciones coexistentes y colaboradoras, cuando los "padres" guardan el orden establecido, mientras que los "hijos" son vehículos de lo nuevo que infringe la tradición. Por lo común, los conflictos entre "padres" e "hijos" expresaban el divorcio entre dos componentes del trabajo y el conocimiento: el mantenimiento de la tradición y su transformación. Este divorcio constituía la base tanto del tradicionalismo de la vejez como del nihilismo de la juventud. El progreso científico, técnico y económico real se apoyaba en ambos componentes: la práctica y la experiencia preparaban el tránsito a nuevas concepciones generales; al mismo tiempo sus resultados no podían encontrarse ni ser formulados ni aplicados sin incorporar ciertas categorías generales establecidas ya. En la ciencia clásica y en la producción que encarnaba dichas categorías, esta incorporación podía no alterar las viejas concepciones durante períodos largos: de ahí la ilusión de su aprioridad, de ahí el apego apriorístico a lo establecido ya, de ahí también la negación nihilista de lo establecido. La base gnoseológica de las colisiones mencionadas era el carácter cuasiestático de las concepciones científicas. En el marco de la cosmovisión dialéctica, en la concepción y sintetización de los cambios fundamentales en el conocimiento y la práctica no había ya ilusiones sobre la inmutabilidad apriorística de los pilares del cuadro del mundo ni divorcio –dimanante de estas ilusiones– entre lo nuevo y lo viejo en la ciencia y la economía.

El papel de la vieja generación en la vida de la sociedad dependía en gran medida de la correlación entre estos componentes del conocimiento y la transformación del mundo, que se fundieron y devinieron complementarios. Inicialmente, la experiencia práctica y el registro empírico de los fe-

nómenos y las regularidades no se constituían en series universales estables. En aquellos tiempos la conservación de las tradiciones no era todavía una función especial, particular, y a los viejos que no presidían sus tribus los dejaban sin alimentos, los mataban y, a veces, se los comían. Más tarde se encontraron y fijaron por tradición y costumbre algunos conocimientos y reglas empíricas estables que parecían sagrados; sus depositarios, poseedores de más experiencia vital, pasaron a dirigir sus tribus. Posteriormente, también el poder, la autoridad y la influencia activa sobre la vida y el trabajo se vincularon en cierta medida con la edad. La transformación de la industria en ciencias naturales aplicadas, el remplazo de la tradición por la ciencia, el dinamismo relativamente alto y el acelerado ritmo del progreso técnico modificaron esencialmente el peso social de los grupos de distintas edades. Pero aquí nos interesa el efecto correspondiente de la ciencia no clásica y de la revolución tecnocientífica contemporánea.

En la ciencia no clásica, la experiencia empírica, la justificación externa y el "avance de la razón" son inseparables de las construcciones lógicas, de la perfección interna, del "ensimismamiento de la razón". La larga acumulación de datos empíricos y su posterior sintetización lógica no son típicas ya de la ciencia; la transformación de las construcciones generales acompaña más a menudo al experimento y hasta se funde con él. Pero esta particularidad filogenética de la ciencia moderna es típica asimismo de la ontogenia, del camino creador de cada científico. Es típica de él también otra particularidad de la ciencia moderna: la elaboración de un principio nuevo no consiste ya en encuadrar en un esquema invariable las nuevas "justificaciones externas"; estas últimas vienen acompañadas de la restructuración de tal esquema. Por eso, la ciencia no clásica no se caracteriza por el vuelo del pensamiento teórico al comienzo del camino creador, vuelo que se sustituye luego por la elaboración tranquila del principio descubierto.

El divorcio, típico en la ciencia clásica, entre los princi-

pios generales muy estables, por una parte, y los datos empíricos y sintetizaciones particulares mutables, por la otra; significa cierta ruptura y cierta ilusión de independencia de dos componentes del conocimiento: la identidad y la no-identidad. La presunción de la identidad permite aplicar conceptos y normas establecidos en el pasado, relativamente inmóviles, a los nuevos fenómenos. Esta extrapolación parece ser una prerrogativa de la vejez. Contra la experiencia identificadora, cristalizada en estas normas, actúa la no-identidad, la no-reductibilidad, la especificidad de lo nuevo. La comprobación de la especificidad de lo nuevo parece ser una prerrogativa de la juventud. Pero ya en los tiempos clásicos, si se los toma en la perspectiva histórica, esta distribución de funciones resulta una ilusión. Una ilusion lógica, pero ilusión al fin. La base de semejante ilusión desaparece en la ciencia no clásica y en la experiencia vinculada con su aplicación. La nueva experiencia obliga a cambiar, modificar, sintetizar y concretar en el acto los principios generales. Pierde sentido la división clásica y, en medida considerable, ilusoria del trabajo entre las generaciones.

En el libro sobre Einstein procuré estudiar, desde este punto de vista, la ontogenia contemporánea de la teoría científica, recordando la oposición entre la vejez y la juventud en el tratado de Longinos, escrito a comienzos de nuestra era, que analizaba desde tal punto de vista las diferencias entre *La Ilíada* y *La Odisea.* Longinos atribuye *La Ilíada,* con su ardor de pasiones, al joven Homero, y *La Odisea,* penetrada de un pensamiento tranquilo, a la vejez del poeta (según Longinos, *La Odisea* hace recordar el Sol cerca al ocaso, que conservando sus inmensas dimensiones, no abrasa ya...). Si la explosión del pensamiento constructivo se asocia con el Sol en el zenit, a la pasión y temperamento juveniles, y la elaboración tranquila del nuevo principio, con *La Odisea,* con el Sol en el poniente, esta analogía no sirve para la obra creadora científica de nuestros días.

Respectivamente, en la producción se unifican la elaboración de los principios técnicos (en otros tiempos se podría

decir "la elaboración tranquila...") y la transformación revolucionaria de estos principios.

En conjunto, la ciencia no clásica y su aplicación hacen que se aproximen mutuamente rasgos característicos de la creación que se asociaban con los peldaños de la edad. El concepto *akmé* (los griegos llamaban así el apogeo del florecimiento de las fuerzas creadoras del hombre) cambia, no es ya el pico del diagrama, sino una curva extendida a lo largo del eje del tiempo. Esta curva llega a su máximo relativamente temprano, conservando su valor máximo hasta la muerte o casi hasta la muerte. Por eso, la lucha por la longevidad, en el sentido de mejorar las condiciones de vida (en particular, el saneamiento del medio ecológico) y elevar la eficacia de la medicina, corresponde a las exigencias de la ciencia y la producción modernas. La prolongación del promedio de vida significa una vertical disminución del porcentaje de personas no aptas para el trabajo y una prórroga vertical del tiempo con capacidad creadora máxima.

Así pues, el optimismo gerontológico está ligado íntimamente al optimismo gnoseológico, tecnocientífico y económico.

No se debe pensar, sin embargo, que las tareas gerontológicas dimanen de las económicas. El sujeto del trabajo y sus intereses son la finalidad, el punto de partida, que determina los planes de reconstrucción del carácter, los instrumentos y objetos del trabajo. Los intereses del hombre consisten en el aumento extensivo e intensivo de la vida, su prolongación y su compenetración máxima posible con la transformación activa del mundo. En la segunda parte del libro se examinarán las tendencias objetivas del progreso científico, y en la tercera, el problema específico del optimismo, el nexo de la mencionada finalidad del trabajo, la producción y la ciencia con las posibilidades objetivas que crea la ciencia no clásica.

II

LA CIENCIA EN EL AÑO 2000

¿POR QUE EN EL AÑO 2000?

¿Se puede deducir esta fecha –año 2000– de algunas definiciones de la ciencia moderna, del carácter de sus tendencias?

Antes de contestar a semejante pregunta conviene señalar la existencia de la retroacción: la definición misma de las tendencias contemporáneas exige cierto pronóstico, un cuadro de desarrollo de la ciencia en el curso de los próximos decenios.

Aquí puede resultar oportuna la siguiente analogía. Imaginémonos un experimento físico que hace aparecer nuevas partículas elementales. La reacción que tiene por resultado la aparición de estas partículas dura un tiempo muy insignificante, digamos, 10^{-22} seg. Mas para determinar qué partículas aparecieron precisamente, cuáles son sus masas, cargas y duración de vida hay que imaginarse cuál será la conducta eventual de cada partícula, cómo se moverá, cuál será su desviación en un campo magnético o eléctrico dado,

cuál será la longitud de la ruta hasta la desintegración con que acaba su existencia. Unicamente tales representaciones sobre el destino eventual de la partícula le dan sentido físico al problema de su pertenencia a una u otra especie, de su carga, masa y tiempo de existencia.

La caracterización del progreso científico contemporáneo hace recordar la determinación del destino eventual de la partícula y la definición de su especie. Actualmente es muy difícil determinar el carácter de las tendencias esbozadas en la ciencia. Es más difícil aún determinar el efecto técnico de estas tendencias, los resultados que aportarán al aplicarse en la práctica. Es muy difícil determinar el efecto económico y social de las tendencias científicas contemporáneas y de su realización. Pero sin tales pronósticos no se puede decir siquiera en qué consisten estas tendencias. Podemos dar nombre a la partícula y determinar su especie, si vemos su destino eventual, su trayectoria. De modo análogo podemos determinar las tendencias del progreso tecnocientífico, denominarlas y aclarar su sentido únicamente con ayuda de hipótesis científicas, pronósticos tecnocientíficos y proyectos económicos.

La finalidad de partida y principal del actual pronóstico económico, técnico y científico es determinar el valor que para la economía nacional tienen las distintas variantes factibles ahora, *al elegir la decisión.* Así pues, no se trata del año 2000, sino del año en curso. Esto debe ser subrayado del modo más enérgico. El siguiente ejemplo explicará semejante actualidad del pronóstico. Imaginémonos que al proyectar una nueva fábrica, mina, central eléctrica, ferrocarril, puerto, etc., es necesario fijar el plazo del desgaste moral de una máquina herramienta, agregado o incluso de toda una empresa. En el contexto de la revolución tecnocientífica, la perspectiva del desgaste moral puede ser más esencial que la del desgaste físico de la máquina e incluso que la del agotamiento de la mina, al proyectarse ésta. Por muy difícil que sea determinar cuándo aparecerá la máquina o el proceso tecnológico que invalidará para la competencia a la

máquina o proceso proyectados, por problemáticos que sean semejantes cálculos, son absolutamente necesarios en las condiciones de la revolución tecnocientífica. Aquí, ellos están vinculados con pronósticos científicos todavía más problemáticos que los técnicos, con la previsión de cambios radicales, o sea, cambios no sólo del diseño y la tecnología, sino también de los ciclos físicos ideales, encarnados en una u otra medida en el diseño de máquinas y los métodos tecnológicos empleados.

Pero eso no es todo. Actualmente, el *valor* de un principio científico, diseño o proceso tecnológico se mide no tanto por su rendimiento económico previsible o existente ya, no tanto por su *nivel* técnico, como por su influjo sobre el *ritmo* del progreso científico, técnico y económico. ¿Qué proporciona un descubrimiento, invento, esquema nuevo, diseño nuevo o tecnología nueva para la *velocidad* y para la *aceleración* del progreso? Esta cuestión es ahora no menos importante, y a veces más importante, que la cuestión de qué proporcionan para el nivel de la ciencia o la economía. Nuestra época es la época de los índices diferenciales y los criterios diferenciales. De ello se tratará más detalladamente en la tercera parte del libro. Ahora subrayemos únicamente la necesidad de los pronósticos para determinar los índices diferenciales.

Para determinar el ritmo del proceso, la velocidad, la aceleración y, en general, la derivada temporal respecto de la magnitud variable x, como se sabe, hay que tomar su incremento Δx y ver cuál será la razón entre Δx y el incremento del tiempo Δt, cuando este incremento se reduce a un instante, tiende a cero. Así se determina la velocidad y, repitiendo esta operación, la aceleración. El pronóstico es precisamente el incremento que debemos conocer para dar una caracterización dinámica del momento dado en la ciencia, la técnica y la economía. Es como una tangente que trazamos en un punto dado hacia la curva; indica la dirección de la curva.

Hablando con propiedad, la curva no coincide con la

tangente, sigue siendo curva. Pero sin la tangente no se puede determinar la dirección local de la curva.

En medida muy considerable y en sus funciones muy importantes, el pronóstico es una tangente; determina la dirección del desarrollo, el estado del movimiento, la dinámica del momento actual y el *valor dinámico* de las variantes de decisión que se deben elegir. De las variantes de las *condiciones iniciales*, de las que depende el desarrollo posterior de la ciencia, la técnica y la economía.

Pero ¿por qué tomamos como Δt –incremento del tiempo– varios decenios? ¿Por qué elegimos para los pronósticos el cuarto restante del siglo? ¿Por qué deseamos saber cuál será el destino de la ciencia, la técnica y la economía en el curso de los veinticinco años próximos? ¿De dónde se sacó esta fecha: el año 2000? ¿Acaso las líneas que caracterizan las tendencias actuales y las continúan no pueden ser proyectadas más allá: hasta cien años, doscientos años y más aún? Por otra parte, ¿acaso no serán a veces representativos los pronósticos a corto plazo: tres, cinco o diez años?

Está claro que el año 2000 es una fecha convencional; pero no arbitraria. Indica el orden de la extensión del plazo en el curso del cual se realizan las tendencias actuales del progreso científico y tecnocientífico. Puede ser que esta realización no ocupe los veinticinco, sino veinte o cuarenta años. Pero se trata de cierto orden de la extensión del plazo. Esto es poco. La fecha "año 2000" encierra la idea de cierto conjunto único de cambios interrelacionados, de su realización final general al cabo de cierto tiempo, que es el mismo para todas las ramas y para todas las vías del progreso.

¿En qué consiste tal conjunto?

La respuesta a esta pregunta es precisamente la segunda parte del libro. En el capítulo de introducción a esta parte conviene limitarse a dar una respuesta previa, muy general, que consiste en lo siguiente. En el curso del tiempo que se mide por varios decenios y que identificamos convencionalmente con el fin de nuestro siglo se realizará lo que promete actualmente la física no clásica.

¿Qué es lo que promete?

Sus promesas son pronósticos de desarrollo de la energética atómica, la electrónica cuántica y la biología molecular. Ante todo, cabe señalar la particularidad gnoseológica general más característica de la etapa actual de la ciencia, que ha dado vida a las direcciones mencionadas del progreso tecnocientífico. Esta particularidad, que determina el carácter y el contenido de los pronósticos actuales, es la conexión entre los descubrimientos científicos y tecnocientíficos concretos y la revisión de los principios más fundamentales de la ciencia; así como la realización de las nuevas ideas físicas, formuladas en la primera mitad del siglo. Nuestro siglo comenzó con una revisión muy radical de los sostenes clásicos de la ciencia y –lo que es, quizás, más importante aún– con el abandono de la presunción del fundamento inmóvil de las representaciones –en evolución– sobre el mundo. Es muy probable –esto se desprende del análisis concreto de las tendencias actuales de la ciencia– que el siglo finalice con la total encarnación tecnoproductiva de las nuevas ideas físicas que marcaron su comienzo. Puede pensarse que en el curso de varios decenios, tiempo que, como hemos dicho ya, es un tanto convencional, pero que identificamos por ciertos motivos con el último cuarto del siglo, se crearán una producción nueva por sus bases científicas y unas nuevas ciencias naturales aplicadas.

Aquí son necesarias ciertas aclaraciones. En el siglo XVII surgió la ciencia clásica. Recibió este nombre porque las principales leyes de la naturaleza, descubiertas por Galileo, Descartes y Newton y más tarde por una pléyade de grandes pensadores de los siglos XVIII y XIX, pretendían desempeñar el papel de verdades definitivas, que serán siempre cánones del pensamiento científico tan inconmovibles como para la creación artística son los cánones encarnados en las obras maestras arquitectónicas y escultóricas de la Antigüedad clásica.

La física clásica y ante todo las leyes de la mecánica expuestas en los *Principios matemáticos de la filosofía de la*

naturaleza, de Newton tenían cierto fundamento para pretender al papel de tablas eternas de la ciencia. A partir de Newton, la ciencia se desarrolla sin rechazar lo encontrado y comprobado por la experiencia, sintetiza y precisa las viejas leyes, encuentra campos para su aplicación y muestra cómo se modifican en ellos. Pero la ciencia clásica pretendía ser algo más. La mayoría de los pensadores de los siglos XVIII y XIX suponían que las leyes de la mecánica de Newton constituían el fundamento inconmovible de la ciencia. La ciencia clásica no es sólo un conjunto de determinados axiomas (tales como la independencia de la masa del cuerpo respecto de la energía con que se mueve, o la continuidad de la energía: la posibilidad de su incremento por muy mínimo que sea), sino también la seguridad de que son axiomas de verdad. Y no se trata incluso de una seguridad subjetiva. En el fondo, las nociones de la ciencia clásica no exigen para su comprensión hipótesis distintas que les sean contradictorias.

¿Qué es la física no clásica? Se la define a veces de modo puramente negativo: es *no*-clásica, renuncia en todo caso a los postulados fundamentales de los que parte la física clásica. En 1900, Planck supuso que la radiación de la energía no puede producirse más que con ciertas cantidades mínimas: cuantos. Pasados varios años, Einstein demostró que de la relatividad del espacio, el tiempo y el movimiento (estos conceptos relativistas eran opuestos a los conceptos newtonianos de espacio, tiempo y movimiento absolutos) se deduce que la masa del cuerpo depende de la velocidad y, por tanto, de la energía de su movimiento; al aproximarse la velocidad a su límite (300.000 km por segundo), la masa del cuerpo tiende al infinito. Einstein supuso asimismo que también la masa del cuerpo en reposo m depende de su energía interna E; si la energía y la masa se miden con unidades corrientes, la energía es igual a la masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz c. Así pues, $E=mc^2$.

En la década del veinte apareció una teoría no clásica más paradójica aún: la mecánica cuántica. Bohr y Heisen-

berg demostraron que la partícula en movimiento no posee, hablando con propiedad, una posición determinada en el espacio y una velocidad determinada en un momento dado. Estas nuevas correlaciones, propias de procesos muy distantes de la experiencia cotidiana, produjeron inesperadamente una fuerte impresión en amplios círculos. Al parecer, el cuerpo que se mueve con una velocidad confrontable con la de la luz (del cual se habla en la teoría de la relatividad) no debe provocar emociones en los hombres que no se dedican a la física teórica. Es igualmente distante de ellos el destino del electrón, que pasa a través de un agujero muy estrecho, próximo por sus dimensiones a las de aquél. El hecho de que en tal experimento, puramente mental e irrealizable en la práctica, el paso a través del agujero cambia la velocidad del electrón haciéndola indeterminada, por lo visto no debía producir una fuerte impresión en el amplio público, sin embargo, la impresión fue colosal. Tanto la mecánica cuántica como la teoría de la relatividad despertaron no sólo un gran interés, sino también un serio cambio de estilo del pensamiento sobre la naturaleza. Probablemente, una revolución parecida en las mentes fue consecuencia de la desaparición de las partes "de abajo" y "de arriba" absolutas en la Antigüedad, cuando se confirmó la idea sobre la forma esferoidal de la Tierra. Semejante perturbación en las mentes produjo la astronomía de los siglos XVI y XVII, que acabó con el centro absolutamente inmóvil del Universo. Cambió no sólo la representación sobre las leyes fundamentales de la naturaleza, sino también sobre la ciencia misma. La teoría de la relatividad y más tarde la mecánica cuántica no se limitaron a sustituir las viejas leyes fundamentales con las nuevas. Estas nuevas leyes no pretendían ya resolver definitivamente los problemas básicos del ser. En el siglo XIX, Helmholtz veía la finalidad suprema y definitiva de la ciencia en reducir todo el cuadro del mundo a las fuerzas centrales, afectas por completo a la mecánica de Newton. El físico contemporáneo no se propone plantear en lugar de esta finalidad una finalidad distinta, sino también definitiva. Seme-

jantes ilusiones victorianas se han perdido para siempre. La física no clásica es un edificio que no sólo crece hacia arriba, sino que se profundiza también en busca de un fundamento, que es cada vez más hondo pero nunca el último. En este sentido, la razón humana no sólo vio un Universo nuevo, sino también un aspecto nuevo de sí misma.

El efecto de la física no clásica no era únicamente negativo. La humanidad sintió intuitivamente que entraba en la época de un dinamismo elevado, que la ciencia trae consigo cambios aún poco claros, mas sin duda profundos en la vida de los hombres, que la vida misma devendría modificación ininterrumpida que cambiarían no sólo las representaciones científicas, sino también las potencias de la ciencia, que su influjo sobre la vida comenzaría a modificar sin cesar las fuerzas materiales y espirituales de la humanidad.

Los que recuerdan la influencia inicial de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica sobre la sicología social pueden confirmar el carácter optimista de su efecto. En la década del veinte se operó una radical transmutación de valores. La estabilidad, la repetición y la inmutabilidad perdieron su aureola victoriana, optimista. El optimismo se vinculaba cada vez más con las transformaciones. Huelga decir que el desprestigio del reposo y la apoteosis del movimiento es una caracterización muy aproximada, que exige reservas y está vinculada a comprobaciones que la contradicen. Por supuesto que las raíces de esa transmutación de valores son mucho más amplias que el influjo de la ciencia no clásica; este influjo, quizás, no figura entre dichas raíces: simplemente el efecto sicológico de la ciencia coincidió con las transformaciones dominantes en la sicología social. Esta fue una de las causas del gran interés por la nueva ciencia, típico de la década del veinte.

A mediados del siglo, la clarividencia intuitiva se convirtió en evidente pronóstico. Actualmente podemos determinar en cierta medida en qué consiste el efecto de la física no clásica, el efecto de su rasgo fundamental que es el ca-

rácter inacabado y abierto de las nuevas representaciones sobre el mundo y la revisión inminente de los principios fundamentales de la ciencia. Veamos cómo se esboza actualmente el efecto de la física no clásica.

La física clásica también hizo dinámicas, móviles y mutables tanto las representaciones científicas como el influjo de la ciencia sobre las fuerzas materiales y espirituales de la humanidad. Mas era dinamismo de una categoría distinta, menos alta. Se modificaban las representaciones científicas particulares, quedando inmutables los principios fundamentales. El cambio de las representaciones científicas particulares produjo un cambio del nivel técnico de la producción, primero esporádico, y en las postrimerías del período clásico, a comienzos del siglo XX, ininterrumpido. A partir de la revolución industrial del siglo XVIII, la producción deviene ciencias naturales aplicadas. El progreso técnico parte esporádica o incesantemente de los esquemas de la ciencia clásica, tomándolos como ciclos ideales a los que debe acercarse la técnica de producción. Toda la historia de la termotécnica clásica es la historia de la aproximación consecuente al ciclo ideal de Carnot, al esquema físico ideal de paso del calor del cuerpo caliente al más frío; este paso permite convertir el calor en trabajo mecánico. Los propios esquemas físicos ideales no quedaban inmóviles, se complementaban con los nuevos. La ciencia iba enterándose de las nuevas leyes de la conservación, de la entropía, la estructura de las moléculas, la evolución de la naturaleza inorgánica y orgánica; iba creciendo cada vez más el número de esquemas que servían de objetivos canonizados para la práctica. En cuanto a la energética, el principal objetivo canonizado del siglo XVIII era la conservación de la energía mecánica, transformándose el potencial ya existente (por ejemplo, el agua que presiona sobre los cucharones de la rueda hidráulica) o de la energía cinética existente (torrente que empuja las paletas de la rodezna) en giro mecánico de máquinas, cuyos progenitores fueron las máquinas de hilar y de tejer, anunciadoras de la revolución industrial. En el

siglo XIX (mejor dicho, en el período que abarca los fines del siglo XVIII y casi todo el siglo XIX), este objetivo canonizado de la energética fue la conservación de la energía, al transformarse el calor en trabajo mecánico. El acercamiento al objetivo canonizado se expresaba en la elevación del rendimiento de las instalaciones térmicas. A partir de fines del siglo XIX, la ciencia, al conocer la transformación del trabajo mecánico en electricidad y viceversa (esto se liga con las conclusiones de las principales ecuaciones de la electrodinámica clásica, de las ecuaciones de Maxwell), plantea ante el progreso técnico un nuevo objetivo canonizado, y la energética tiende a aplicar el siguiente esquema: el movimiento del conductor en un campo magnético produce la corriente eléctrica, y esta última obliga a girar, a una distancia considerable, el conductor en el campo magnético. La encarnación de este esquema en forma de un sistema único de suministro de energía eléctrica es la finalidad principal de la electrificación.

Más abajo abundaremos en la electrificación como encarnación de la electrodinámica clásica. Pero antes hagamos una observación sobre la plasmación de toda la física clásica en la evolución íntegra de la energética hasta mediados de nuestro siglo.

La ciencia clásica opera con las partes discretas de la sustancia: cuerpos macroscópicos, moléculas y átomos. La energía de todos estos cuerpos movibles debe su existencia, si se habla de la Tierra, a la radiación del Sol. Este crea todas las fuentes clásicas de la energía utilizada en la producción. Los rayos del Sol elevan las moléculas del agua, crean los desniveles de presión del aire y el viento, restructuran las moléculas de la sustancia orgánica, al ser absorbida la luz por la clorofila, es decir, concentran las reservas de energía en forma de combustible. Así pues, la energética clásica no rebasa el marco de los procesos que se operan en el sistema solar inmutable. Adelantándonos un tanto, señalemos que la nueva energética –encarnación de la ciencia no clásica– se apoya en los procesos que explican el surgimien-

to de núcleos atómicos, en los procesos que se operan al surgir y destruirse los mundos.

Huelga decir que la energética clásica también se apoya en procesos que han adquirido ahora una explicación no clásica; tales son los procesos que provocan la radiación del Sol, la acumulación de su energía en la clorofila e incluso el surgimiento y la propagación de corriente en los conductores. Pero la palabra "se apoya" tiene aquí un sentido distinto: la energética clásica pudo desarrollarse sin descubrir la naturaleza no clásica de estos procesos. Por el contrario, la nueva energética está vinculada en medida esencial con semejante descubrimiento.

Volvamos a la electrificación. Ella consiste en que las fuentes clásicas de energía se utilizan en sistemas unificados, compuestos de puntos generadores y consumidores de energía eléctrica. Los unifican las transmisiones de alto voltaje. Pero esto no es más que el primer eslabón de la electrificación, que produce resonancia en la tecnología, la base de materias primas de la producción, el carácter del trabajo, la cultura y la ciencia.

La resonancia tecnológica de la unificación de la energética consistió en una amplia utilización industrial de la electrólisis. Los procesos tecnológicos que requieren gran cantidad de corriente eléctrica, los métodos tecnológicos que exigen aumentar considerablemente la proporción del gasto de energía elécrica se hacían rentables a medida que la electrificación iba poniendo en explotación los recursos hidráulicos y de combustible local barato. Se hizo posible producir, en volumen incomparable con el pasado, abonos nitrogenados artificiales; esto cambió de golpe el rendimiento en la agricultura. La electrificación les abrió paso a los métodos que requieren grandes cantidades de electricidad, con cuya ayuda se producen metales ligeros y aceros especiales. Se modificó el utillaje metálico de la producción y, respectivamente, la base de materias primas. Se hicieron necesarios los metales raros y en general los elementos conocidos por la química pero desconocidos en absoluto por la tecnología.

Decenas de elementos del sistema periódico de Mendeléiev se convirtieron en nueva materia prima industrial.

La electrificación modificó el carácter del trabajo. La flexibilidad de la transmisión eléctrica permitió sustituir al obrero por la máquina en operaciones más complicadas. Los motores eléctricos –muy potentes o muy pequeños– ponían en movimiento numerosos mecanismos, que elaboraban las piezas moviéndolas y transportándolas de una máquina automática a otra. Aparecieron los servomotores, motores que no elaboran el objeto de trabajo, sino que gobiernan otros motores, cambian su régimen de trabajo, la inclinación de la cuchilla, la dirección del transportador automático, etc. La producción electrificada se caracteriza por el tablero de mando de las líneas automáticas, tablero con relojes que indican velocidades, tensiones, temperaturas, la entrada de materia prima y la salida de la producción, y con botones y palancas que permiten manejar un mecanismo complejo o un sistema de mecanismos.

El resultado económico general de la electrificación consistió en lo siguiente.

La penetración de la electricidad en la tecnología; el paso a nuevos tipos de materia prima y la automatización de la producción son ahora procesos prácticamente ininterrumpidos. No pasaba una semana sin que en uno u otro laboratorio, oficina de diseño o taller apareciesen una nueva pieza de diseño, una nueva versión, un nuevo recetario, nuevas operaciones o nuevos parámetros. Respectivamente, el progreso técnico adquirió un carácter ininterrumpido, comenzando a crecer prácticamente sin cesar, junto con el progreso técnico, la productividad del trabajo social.

Como se sabe, dejando a un lado algunas sutilezas matemáticas, las variaciones ininterrumpidas de magnitudes pueden ser representadas como derivadas temporales. La primera derivada respecto a la posición de un punto es su velocidad, la segunda es la aceleración. El resultado económico de la electrificación puede formularse de la siguiente manera: durante la electrificación, la primera derivada de la produc-

tividad del trabajo en función del tiempo pasa a ser positiva, es más de cero, la productividad del trabajo crece sin cesar y posee cierta velocidad.

En 1920 fue redactado el plan de electrificación de la Rusia soviética, que comprendía el programa inmediato de construcción de centrales eléctricas y otro más lejano para unificar en un circuito único las centrales de la parte europea del país, aumentándose su potencia. El plan indicaba las direcciones y la envergadura de la electrificación de la industria y de la utilización de la electricidad para mecanizar la producción y para crear los nuevos procesos tecnológicos: bosquejaba la electrificación del transporte y la agricultura y las perspectivas de desarrollo de las ramas fundamentales de la producción, al ser reconstruidas a base de la electricidad. Todo ello formó un conjunto de adelantos en la producción interrelacionados y sincronizados más o menos a un mismo plazo: la creación de la red de alto voltaje, que unificase las centrales importantes, la mecanización de la producción, el cambio del carácter del trabajo, el desarrollo de las ramas que consumen gran cantidad de energía eléctrica y la modificación de los recursos de materias primas.

Ahora nos será más fácil comprender en qué consiste el efecto de la física no clásica.

Ante todo, es una nueva base energética de la producción. En este caso, la palabra "nueva" significa algo muy radical. Trátase de la aplicación de un principio físico muy general. Para la revolución técnica desencadenada por las herramientas mecánicas del siglo XVIII, el principio físico más general era la ley newtoniana de las fuerzas: la proporcionalidad de la aceleración del cuerpo y de la fuerza que actúa sobre él con un coeficiente constante de proporcionalidad, igual a la masa del cuerpo. Para la revolución desencadenada por las máquinas térmicas de los siglos XVIII y XIX, tal fundamento más general fueron los principios de la termodinámica. Para la revolución que produjo la electricidad, lo eran las leyes electrodinámicas, las ecuaciones de Maxwell, que vinculan el campo magnético con el elétcrico

y están encarnadas en el transformador, generador y motor eléctrico. Para la energética atómica, tal principio más general que determina los ideales y rumbos de las investigaciones y aplicación subsiguiente de sus resultados, es la correlación relativista entre la masa del núcleo y la energía de unión de las partículas nucleares. Desde luego, que cada una de estas fórmulas no se opone a las demás: cuando en el reactor atómico moderno (que utiliza una proporción pequeña, pero ya esencial, de energía, calculada a base de la fórmula de Einstein) se produce el calor, el cálculo posterior del uso de este calor se apoya en la termodinámica clásica y la electrodinámica clásica, y el cálculo de los procesos mecánicos en el reactor atómico, en la mecánica clásica. Pero ahora juzgamos de la evolución de la energética, no midiendo ya la dinámica de la utilización consecuente de la capacidad calorífica del combustible quemado (quemado en el directo sentido clásico, es decir, combinado con el oxígeno), y no partiendo ya de la energía que el Sol dio a la molécula de la sustancia orgánica. Ahora medimos el uso de la energía interna del núcleo, de la energía alojada en él, al crearse a raíz de procesos operados en campos del espacio-tiempo muy pequeños, pero vinculados con la evolución cósmica de los astros y, puede ser, de las galaxias.

Un período determinado del progreso tecnocientífico, ligado a la energética atómica, no concluirá, ni muchos menos, con la utilización completa de la energía relativista $E=mc^2$, lo mismo que el concluir de la revolución producida por el vapor no significó la utilización completa de la capacidad calorífica de la hulla. La revolución producida por el vapor concluyó al convertirse la hulla en componente principal del balance energético, al migrar la producción en medida sustancial de los ríos y las ruedas hidráulicas construidas a sus orillas a las cuencas hulleras, al aparecer el transporte de vapor y los centros industriales clásicos. De modo análogo, la revolución hecha por la electricidad no exigió para concluir la total utilización de los recursos clásicos de energía, y su coronamiento (por supuesto, relativo, conservando la

perspectiva del progreso ulterior de las centrales, redes, aparatos eléctricos industriales y métodos de aplicación tecnológica de la electricidad) significó la creación de grandes circuitos interdistritales, la amplia automatización, la electrificación de la tecnología y –como resultado– la continuidad del progreso técnico, que permite hablar de la derivada temporal no igual a cero, del nivel de la técnica y del nivel de la productividad del trabajo.

Puede considerarse (si sigue trazándose la analogía con la electrificación como encarnación de la física clásica), que el conjunto de cambios interrelacionados en la tecnología, el carácter del trabajo, el carácter de la base de materias primas, la cultura y la ciencia constituye el contenido de un periodo especial de la revolución producida por la energía del núcleo atómico. Puede decirse asimismo que este proceso se corona con la transformación de las centrales atómicas en fuente predominante de generación de electricidad, con la automatización a base de las máquinas electrónicas de cómputo y mando, exonerando la producción de la amenaza del agotamiento de recursos.

Todos estos resultados de la energética atómica (se podría llamarlos también *resonancias,* pues la energética atómica no hace más que reforzar las tendencias internas de la electrónica y la cibernética) conducen a una aceleración incesante del progreso técnico. El desarrollo de la energética atómica no son ya series de diseños que se acercan cada vez más al esquema físico ideal. Es a menudo el cambio del esquema mismo. Más tarde volveremos a la mencionada particularidad de la energética atómica. De modo análogo, los procesos "de resonancia" de la introducción de la electrónica en la tecnología y de la aplicación de la cibernética cambian a menudo en toda la producción los esquemas funcionales, y no únicamente la formalización ingenieril de un mismo esquema. Adelantándonos un tanto y sin remitirnos por ahora a ejemplos y pruebas, formulemos la característica económica principal del siglo atómico: el nivel de la técnica y el de la productividad del trabajo no sólo crecen, sino que

crecen acelerándose ininterrumpidamente, aumenta la velocidad del progreso técnico y la de la elevación de la productividad del trabajo. Es positiva ya no sólo la primera derivada de la productividad del trabajo en función del tiempo. La segunda derivada tampoco es igual a cero.

Ese es precisamente el principal resultado económico de la transformación de la energética atómica en componente fundamental del balance energético, de la transformación de la electrónica en medio principal de la tecnología y de la transformación del trabajo con ayuda de los mecanismos cibernéticos en contenido básico del mismo.

¿Y luego qué? ¿Podemos trazar ahora los contornos del siglo postatómico?

No podemos hacerlo. Pero podemos señalar con gran certidumbre el proceso que prepara ya ahora a la civilización postatómica. Al problema de esta preparación se dedica un capítulo aparte. Aquí subrayemos sólo que sabemos con seguridad en qué consiste la preparación de la civilización postatómica, pero no sabemos en absoluto cuál será el resultado de esta preparación, cuáles serán las ideas científicas que permitirán la aparición de la nueva energética postatómica, de la nueva tecnología y el nuevo carácter del trabajo.

La vía hacia tales ideas científicas nuevas es el estudio de las partículas elementales. Ya no sólo de los átomos y no sólo de los núcleos atómicos, sino también de las partículas que por ahora no se ha logrado ni se logrará, por lo visto, dividir en subpartículas. Entre ellas figuran electrones, partículas con carga eléctrica negativa; nucleones, partículas que componen los núcleos atómicos; protones, partículas con carga eléctrica positiva; neutrones, partículas sin carga eléctrica, y otras muchas. Por desgracia, difícilmente podemos indicar las diferencias entre las partículas elementales y no elementales, y no podemos decir en absoluto de qué dependen las masas y cargas que distinguen una especie de partículas elementales de otras.

Hay todas las razones para pensar que la solución de estos problemas sólo es posible si se renunciase de modo

muy radical a las representaciones corrientes, de modo más radical, quizás, que cuando se renuncia a los axiomas clásicos de la física, al crearse la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica.

No está excluido que dentro de diez o veinte años (en todo caso trátase de semejantes plazos) comience un período de rápido cambio de los principios más fundamentales de la ciencia. Entonces cambiarán de modo vertiginoso no sólo los esquemas científicos concretos (esto se está operando ya en nuestros días), sino también los ideales mismos de la ciencia, a los cuales aspiran los sabios, al elaborar nuevos esquemas científicos. Entonces, posiblemente, pasará a ser ininterrumpida no sólo la aceleración del progreso técnico, sino también la aceleración misma aumentará sin cesar, convirtiéndose de verdad en la tercera derivada temporal positiva del nivel de la técnica, del nivel del poder humano sobre la naturaleza.

Pero esta tercera derivada no es por ahora una magnitud mensurable. No es más que un *símbolo* del posible efecto económico de las investigaciones básicas, que amplían nuestros conocimientos sobre las partículas elementales. Estas investigaciones permiten penetrar en campos espaciales muy pequeños (de orden del radio del núcleo atómico, o sea, alrededor de 10^{-13} cm) y en intervalos de tiempo de orden de 10^{-23} seg. Se puede penetrar en ellos con ayuda de aceleradores muy potentes de partículas elementales. Otro camino, complementario, son las investigaciones astrofísicas, en particular, las investigaciones de los rayos cósmicos: torrentes de partículas que poseen una energía muy alta y llegan a la Tierra del espacio universal.

Son investigaciones "desinteresadas". Las comillas no significan dudar del carácter auténticamente desinteresado del afán de resolver problemas netamente cognoscitivos, afán que conduce al hombre al Cosmos y al micromundo. Sean cuales fueren los posibles resultados prácticos de las investigaciones astrofísicas o de la construcción de potentísimos aceleradores de partículas, no son estos resultados, que

por principio no pueden determinarse de antemano, los que sirven de estímulo a dichas investigaciones, que han pasado a ser iniciativas de gran importancia para la economía nacional debido a que se persiguen, ante todo, fines cognoscitivos. Los hombres saben ya que el carácter abstracto de los problemas cognoscitivos y la total vaguedad de los resultados prácticos de su solución corresponden al carácter radical de estos resultados indeterminables de antemano y, en fin de cuentas, a la aceleración radical del progreso económico. Comprenden que la teoría de la relatividad pasó a ser fuente de un resultado práctico radical, como es la energética atómica, merced precisamente al carácter general en extremo, abstracto y puramente cognoscitivo de los problemas planteados a principios del siglo sobre el espacio, el tiempo, el movimiento, el éter, la masa y la energía. Actualmente, la ciencia tiene planteados problemas aún más generales y aún más fundamentales. Estos problemas se irán resolviendo independientemente del grado de determinación de sus resultados prácticos. Y no obstante, las comillas que encierran la palabra "desinteresadas" tienen cierto sentido: aquí, el "interés" es cuantitativamente indeterminable, no se conoce de antemano, pero es absolutamente indiscutible y grande en extremo.

¿Constituye este interés un concepto económico? ¿Se puede hablar del efecto económico de las investigaciones básicas en el campo de la teoría de las partículas elementales?

Por lo visto, ha llegado la hora de sintetizar el concepto de "efecto económico", incluyendo en el mismo no sólo la productividad del trabajo social, sino también la velocidad del acrecentamiento de este índice, su aceleración y, quizás, hasta la velocidad de la aceleración. Como se ha dicho ya, trátase de las derivadas de la productividad del trabajo en función del tiempo: de la primera derivada (velocidad del acrecentamiento), la segunda derivada (aceleración) y la tercera derivada (velocidad de la aceleración).

El cómputo de las derivadas temporales, comprendida la

tercera derivada, permite considerar las investigaciones básicas, "desinteresadas" (que responden a las cuestiones sobre el espacio y el tiempo, sobre su finitud o infinitud, sobre su discontinuidad y continuidad, sobre el "elementarismo" de las partículas elementales, sobre la naturaleza de su masa, carga, etc.) como eslabones de la actividad económica del hombre, como algo que aumenta el poder del hombre sobre la naturaleza y eleva la suma de los valores materiales, intelectuales y estéticos que consume el hombre.

Unicamente las investigaciones más simples –las mediciones de control de la calidad de las materias primas y la producción, la velocidad de máquinas herramienta, la presión del vapor, la tensión, etc.– aseguran el nivel dado de la productividad del trabajo. Los trabajos de diseño y tecnológicos elevan la productividad del trabajo, comunicándole una velocidad del crecimiento no igual a cero. Hablando con propiedad, las investigaciones científicas garantizan el aceleramiento, y las más fundamentales de ellas prometen el acrecentamiento de la aceleración de la productividad del trabajo social. El ritmo de aceleración de la productividad del trabajo social y, por tanto, de toda la civilización en conjunto no puede recibir un impulso tan fuerte de nada que no sean las investigaciones "desinteresadas": desinteresadas en efecto, si se tiene en cuenta el nivel de productividad del trabajo, y vinculadas con un "interés" objetivo muy grande, si se tiene en cuenta el acrecentamiento de la aceleración de este índice universal de la civilización.

Existe un nexo bastante marcado entre el grado de comunidad, profundidad y "desinterés" de las investigaciones científicas y la incertidumbre de su efecto económico. Las mediciones de control, los trabajos de diseño y tecnológicos, las propias investigaciones científicas que siguen los cauces peculiares trazados ya y, por último, las investigaciones básicas proporcionan un efecto cada vez más intensivo y, al mismo tiempo, cada vez más incierto y fortuito.

Podemos presentar, como una regularidad bastante precisa y universal, la siguiente correlación: *cuanto más alto*

es el orden de la derivada, en cuya magnitud influye el resultado de la investigación, tanto más incierto es el efecto económico de este resultado y tanto más profundo es tal efecto.

Respectivamente, la teoría económica debe incluir la indeterminación como concepto fundamental. Ha pasado a ser una ciencia tan exacta que debe compartir el destino común de las ciencias exactas y operar con el concepto fundamental de indeterminación.

La indeterminación del efecto de los trabajos básicos es de tipo distinto que la del efecto de las investigaciones científicas con resultados previsibles (aunque no de modo univalente) y la del efecto de las búsquedas de diseño y tecnológicas. Limita el pronóstico que pretenda ser determinado aunque sea en un mínimo. Tal pronóstico no debe rebasar el marco del conjunto de cambios en la energética, la tecnología, el carácter del trabajo y la base de materias primas, que garantizan la aceleración del nivel de productividad del trabajo y corresponden al concepto de "siglo atómico". Las investigaciones básicas son un peculiar *memento mori*, una alusión al carácter limitado de tal conjunto en el tiempo.

Semejante limitación del pronóstico es resultado de la negación radical –típica de la ciencia no clásica– de cualesquiera categorías absolutas dadas de una vez para siempre. La ciencia no clásica tiene la particularidad fundamental de ver su propio carácter limitado y, más aún, incluye ciertas indicaciones sobre la posible modificación de su propio fundamento. Pero ellas son insuficientes para encarnarse en nuevos esquemas y ciclos ideales, que se convierten en hitos del progreso tecnocientífico. Su significado para el pronóstico consiste en la posibilidad y necesidad de limitarlo en el tiempo. Nos remitimos a la posibilidad de que después de la realización del conjunto de cambios energéticos y tecnológicos interrelacionados, que ocuparán varios decenios y pueden hacerse coincidir convencionalmente con el año 2000, se creen unas condiciones absolutamente nuevas, postatómicas, del progreso técnico.

Los tres o, quizás, cuatro decenios próximos son precisamente el siglo atómico, período para el cual podemos esbozar unas perspectivas tecnocientíficas relativamente determinadas y un efecto económico integral relativamente determinado del desarrollo de la ciencia. En la primera mitad del siglo aparecieron los nuevos principios integrales de la ciencia; el pensamiento científico franqueó lo que hemos llamado *límites generales,* que separan ya no una rama de otra, sino una época de otra. Este impulso surgido en la física teórica se iba extendiendo de una rama a otra, la velocidad de su expansión aumentaba merced al nuevo instrumental matemático y a los nuevos métodos experimentales; el propio impulso acrecía en forma de avalancha, conservándose la posibilidad de prever en cierta medida la dirección del progreso tecnocientífico. Aparecieron la energética atómica, la electrónica cuántica, la cibernética y la biología molecular, ramas de las cuales se hablará con minuciosidad relativa en esta parte del libro. Ellas están vinculadas con las bases de la física no clásica en forma directa (energética atómica, electrónica cuántica) o indirecta (biología molecular), y actualmente en su desarrollo no encontramos umbrales fundamentales, relacionados con el paso a las nuevas bases integrales de la cosmovisión científica de conjunto.

De ahí la cierta constancia, la cierta regularidad de la evolución de los índices económicos como función del progreso tecnocientífico. Si la productividad del trabajo social adquiere la primera derivada temporal no igual a cero, es decir, una velocidad inextinguible, a raíz de los descubrimientos propiamente técnicos, las recetas tecnológicas y los diseños nuevos; la segunda derivada no igual a cero, o sea, la aceleración a raíz de los descubrimientos propiamente científicos, los nuevos esquemas físicos y ciclos ideales, y la tercera derivada no igual a cero, a raíz del cambio de las bases de principio de la ciencia en conjunto, para los decenios próximos —convencionalmente hasta fines del siglo— podemos partir de la *segunda derivada temporal no igual a cero de la productividad del trabajo,* de la aceleración de

este índice como de la desigualdad principal, típica del período pronosticado.

Todo ello contesta a la pregunta: "¿Por qué se toma el año 2000?" Pero ahora surge otra pregunta: ¿por qué precisamente ahora, a mediados de la década del setenta, es posible hacer un pronóstico relativamente fundamentado para 2000?

Ante todo, ya en la década del sesenta, las centrales atómicas eran capaces de competir con las centrales térmicas, que trabajan a base de hulla. Más adelante, en el capítulo sobre la energética atómica, se aducirán confrontaciones del valor del kilovatio-hora en las centrales atómicas y en las de hulla. El hecho de que estas magnitudes se han aproximado, crea la posibilidad de una transición larga, que abarca decenios, al balance de energía eléctrica principalmente atómico. Por supuesto, la velocidad de la transición depende esencialmente del grado en que la proximidad alcanzada de estos valores sea sustituida por una diferencia en favor de las centrales atómicas. Pero ahora hemos pasado por el punto de intersección de las curvas del coste de un kilovatio-hora. Varias circunstancias permiten suponer que el coste del kilovatio-hora en las centrales atómicas irá disminuyendo más rápidamente que en las centrales térmicas, permiten prever el aumento sucesivo de la diferencia en favor de las centrales atómicas. En todo caso, actualmente, los pronósticos en cuanto a la energética atómica parten de la posibilidad probada ya de pasar rentablemente a una estructura nueva del balance energético. Se puede esperar incluso la aceleración del paso debido a que en la década del setenta ha sido resuelto física y técnicamente el problema de los reactores, que producen más combustible nuclear que el consumido en el reactor.

Para la década del setenta es característico asimismo que la nueva tecnología, que se basa en la electrónica, ha llegado a los procesos de producción fundamentales. En este mismo período, la cibernética, habiendo alcanzado éxitos muy importantes para el futuro en el terreno de las comunicaciones,

el tratamiento, almacenamiento de información y el mando, se ha acercado de lleno a las tareas propiamente productivas en las ramas principales de producción. Actualmente, en la década del setenta, estas tres tendencias fundamentales –la energética atómica, la electrónica y la cibernética– han llegado, digámoslo así, a su mayoría de edad económica. Ellas constituyen precisamente la base tecnocientífica de un pronóstico nuevo, que es una plasmación de la ciencia no clásica. La realización de este pronóstico exige elevar lo que puede llamarse potencial intelectual de la ciencia. Dicho pronóstico depende de la amplitud y la comunidad de los problemas básicos, en cuya solución la ciencia halla nuevas conexiones entre las ramas diferenciadas del saber, traslada los procedimientos experimentales y matemáticos de una rama a otra y amplía el arsenal de ellos.

Las mencionadas tendencias fundamentales –la energética atómica, la electrónica y la cibernética– conducen no sólo a la ampliación de la producción y, además, no sólo a la ampliación acelerada. Llevan a una ampliación muy grande y muy rápida de lo que puede llamarse límites del pronóstico en el espacio-tiempo. La ciencia y la técnica modernas penetran en el micromundo, crean "noozonas" microscópicas, o sea, zonas del ordenamiento racional de los microprocesos. Pero los procesos comenzados a nivel micromilimétrico conducen a consecuencias que afectan toda la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera de la Tierra, y los acontecimientos operados en una millonésima de segundo cambian los procesos seculares en la Tierra. Nuestro tiempo podría llamarse época de las reacciones en cadena.

Resultado esencial y vitalmente importante para la humanidad de la ampliación de la envergadura espacial y temporal del efecto de las actuales iniciativas tecnocientíficas es su influjo sobre la ecología del hombre, sobre el medio en que vive, el mundo vegetal y animal, la composición de la atmósfera y el agua, el nivel de radiación y el balance de los recursos naturales necesarios para la vida y la producción. Aparece un criterio nuevo de valoración de los proyectos

tecnocientíficos, que rebasa en gran medida los criterios del valor de la unidad del potencial establecido o del valor de la producción, etc.; pero desde cierto punto de vista es un criterio económico, si por economía, producción y trabajo se entiende todo el conjunto de interacciones del hombre con la naturaleza. El criterio ecológico puede ser base de una apreciación positiva: la ciencia y la técnica modernas pueden conducir a cambios necesarios para la humanidad en el habitat, en el ambiente geofísico, el manto vegetal de la Tierra y el balance de minerales; pueden eliminar cataclismos destructores y hacer habitables extensos espacios. Este criterio puede sugerir asimismo apreciaciones negativas del contenido o la envergadura de las iniciativas tecnocientíficas. En todo caso, el pronóstico de escala espacial y temporal muy amplia se convierte en condición de la correcta apreciación de los proyectos, y el pronóstico optimista, en premisa necesaria de la realización de las ideas tecnocientíficas.

SIGLO DE EINSTEIN

El período del progreso tecnocientífico, que es ahora objeto de pronóstico, lo llaman siglo atómico. Como se ha dicho ya, él no se reduce a la transformación de las centrales atómicas a base del balance energético, sino que incluye los efectos de resonancia, vinculados directa o indirectamente con la energética atómica. Pero incluso tal concepto ampliado de siglo atómico no se extiende a varias particularidades esenciales de la ciencia de fines del siglo XX. El concepto de "siglo atómico" indica la escala cuantitativa de la energética atómica, el nivel de automatización y el grado de utilización de la electrónica (de ello se tratará con más detalle en los siguientes capítulos); pero no determina la nueva dinámica de la producción y la cultura, propia de los siglos XX y XXI. Entretanto, precisamente en ello radica el enigma de la nueva revolución tecnocientífica. El período precedente también era dinámico: a partir del siglo XVIII la produc-

ción cambia ya de estructura, emplazamiento, base energética, nivel de mecanización y tecnología. Pero, como se ha dicho ya en el capítulo anterior, la revolución tecnocientífica de nuestro siglo se caracteriza por una dinámica distinta, más alta: actualmente cambian sin cesar no sólo los diseños industriales y las recetas tecnológicas, sino también los ciclos y modelos ideales de progreso técnico.

¿Qué es lo que constituye la base de tal cambio? ¿Por qué comenzó en nuestro siglo una modificación tan rápida de estos modelos ideales, de las representaciones sobre los procesos físicos, sobre la extensión de campos, el movimiento, las transmutaciones de partículas y las transformaciones de la energía?

La fuerza motriz directa de este componente científico de la nueva revolución fue el paso a un nuevo ideal físico. En vez del ideal estático de la ciencia clásica, ante el investigador apareció un ideal distinto, esencialmente no clásico, que no puede expresarse ya en forma de explicación definitiva del mundo, que no deja al futuro más que pormenorizar el esquema establecido definitivamente del Universo. Actualmente, la teoría física ideal es la teoría que se acerca más que otras a la comprensión de la armonía objetiva del Universo y corresponde en mayor grado a la suma de los datos experimentales. Es un criterio dinámico que corresponde al nuevo credo gnoseológico de la ciencia. La idea expuesta ya en tiempos remotos de que "la verdad es hija del tiempo", la idea sobre la aproximación infinita a la verdad, la idea que se fue desarrollando, después, durante siglos, tomó cuerpo ahora en los criterios directos de elección de la teoría científica.

Los nuevos criterios de la teoría científica y los nuevos ideales dinámicos de la creación científica son uno de los *resultados* más importantes del desarrollo de la ciencia del siglo XX. Al hablar de la ciencia del año 2000, deseamos comprender, ante todo, cuáles son estos resultados y qué hay de nuevo en lo aportado por la ciencia de nuestro siglo a las fuerzas motrices del progreso, a su dinámica. "La ciencia en

el año 2000" es una designación convencional del sentido principal del desarrollo de la ciencia en el siglo XX, una respuesta a la pregunta: ¿Con qué calificativo entrará el siglo XX en la historia de la ciencia y la cultura?

El siglo XVIII fue llamado siglo de la razón, y el XIX, siglo de la ciencia. Detengámonos en el sentido de estos calificativos, que nos ayudarán a contestar la pregunta que acabamos de formular sobre el del siglo XX.

En la época del Renacimiento, la razón proclamó ya su soberanía, comenzando a pretender, en el siglo XVII, a un papel hegemónico. Pero el siglo XVII no es más que la aurora del racionalismo, con tintes suaves y tornasolados. En el siglo XVIII fue creado el esquema racionalista del Universo, que concordaba con los datos del experimento. Este esquema era la mecánica de Newton, que ejerció una influencia muy grande sobre todos los aspectos de vida de la sociedad europea. Engels habló de las líneas que unían la ciencia del siglo XVIII con la Ilustración francesa y la Gran Revolución Francesa, por una parte, y con la revolución industrial inglesa, por la otra[1]. La cultura del siglo XVIII estaba penetrada por un estricto y preciso espíritu racionalista. El ideal de la ciencia consistía en reducir todo el cuadro multicolor del mundo a un plano unicolor: al esquema de movimientos de los cuerpos, subordinados a la mecánica de Newton. Era el ideal estático de la explicación científica, el *non plus ultra* del conocimiento científico.

Respectivamente, eran estáticos también los ideales sociales del siglo XVIII. Remitiéndose al sistema de Newton y convirtiendo a este pensador inglés en demiurgo del Universo, Carlos Fourier construía una sociedad ideal, en que el pensamiento abstracto determinase no sólo la organización racional de los falanterios, sino también una naturaleza ordenada con "antileones" y "antitiburones" bien intencionados y una longevidad del hombre exactamente determinada (144 años). No obstante todo su carácter fantástico, el siste-

[1] Véase C. Marx y F. Engels. *Obras*, t. 1, pág. 608.

ma de Fourier entroncaba con el estilo de la ciencia del siglo XVIII, y no en vano el gran utopista recibió el nombre de "Newton social".

También eran estáticos los criterios de la creación técnica. La revolución industrial –por lo menos en su primera fase– consistía en construir máquinas que se distinguiesen lo menos posible de los esquemas mecánicos ideales. Como se ha dicho ya, la creación técnica disponía de un esquema físico ideal, tope de los perfeccionamientos técnicos.

Tal era el siglo de la razón que, claro está, sólo muy convencionalmente se encuadraba cronológicamente en el siglo XVIII. Por lo demás, el carácter convencional de los marcos cronológicos (comprendido nuestro siglo XX) se hace evidente, al ser objeto los siglos de caracterizaciones integrales. Con tal reserva, el siglo XIX podría llamarse siglo de la ciencia experimental. El desarrollo de la ciencia no se limitaba ya a llenar las formas apriorísticas invariables con nuevos datos empíricos. Cuando la razón tropezaba con el experimento se veía obligada a pasar a nuevas y nuevas formas lógicas y matemáticas, que no eran apriorísticas en absoluto. Recordemos la precitada frase de Laplace de que para la razón "es más difícil ensimismarse que seguir adelante". A comienzos del siglo, el ensimismamiento de la razón (en otros términos, la elaboración de nuevas formas matemáticas y lógicas) era una empresa más difícil que su avance, o sea, el relleno de las formas establecidas ya con un nuevo contenido empírico. Mas esto era inevitable. En el siglo XIX, la ciencia encontraba a cada paso regularidades que obligaban a recordar la frase shakespeareana de que "hay muchas más cosas en el cielo y en la tierra..." La transición irreversible –con que ni soñaban los sabios y que fue descubierta por Carnot– a los estados con mayor entropía, un nuevo tipo inimaginable para ellos de realidad física, o sea, el campo electromagnético, y otros hechos semejantes no previstos por los esquemas apriorísticos quebrantaban sucesivamente la idea sobre cierto objetivo final de la ciencia: la reducción de todas las regularidades particulares a un esquema único. Las

dudas no derrubiaban más que la idea de la reducción de todo lo que se estaba operando en el mundo a la mecánica; casi nadie ponía en tela de juicio que la mecánica misma era concebible únicamente como mecánica newtoniana. Menos aún se dudaba de la exactitud absoluta de la geometría de Euclides. Pero no se encontraba sus equivalentes absolutamente exactos en la naturaleza. La superficie lisa del cuerpo no podía servir de prototipo del plano, pues, como se descubrió, estaba compuesta de moléculas. El rayo de luz no podía servir de prototipo de la línea, pues constituía el movimiento de la onda. Al despojarse de tales equivalentes físicos directos, la geometría podía crear libremente las construcciones más inesperadas, que eran el "ensimismamiento de la razón", separado del "avance". Surgieron geometrías multidimensionales y espacios abstractos multidimensionales, en los cuales la posición del punto no se determinaba por tres sino por cuatro y más coordenadas. Aparecieron la geometría de Lobachevski con triángulos en los cuales la suma de ángulos era inferior a dos rectos, y la geometría de Riemann, en la cual la suma de ángulos del triángulo era mayor a dos rectos. Eran vuelos de la razón libre de equivalentes físicos, que construía nuevas y nuevas formas lógico-matemáticas paradójicas, asombrándose de su carácter no contradictorio y de su lógica intachable, pero sin pensar más o menos sistemáticamente en estas formas paradójicas como formas del ser paradójico.

La teoría de la relatividad cambió la correlación entre la razón "ensimismada" y la razón "que avanza". En la teoría especial de la relatividad, la geometría cuatridimensional adquirió los equivalentes físicos; en la teoría general de la relatividad los adquirió la geometría no euclidiana. Así surgió la representación no sólo de la opinión, criterio o teoría paradójicos, sino también del *ser paradójico*. Esta representación resultó una grandiosa fuerza revolucionaria, que comunicó a la ciencia y la técnica del siglo XX un dinamismo más alto.

El carácter paradójico del ser es la aparición de los prin-

cipios e ideales fundamentales de la explicación científica no tradicionales e incompatibles con la tradición. Las finalidades de la creación científica se modifican, devienen móviles y adquiere aceleración el progreso científico.

Detengámonos ahora en la síntesis de la transformación del instrumental lógico-matemático de la ciencia y el experimento, síntesis típica del siglo XX y que imprime a la ciencia semejante dinamismo más elevado.

Al crear la teoría de la relatividad, Einstein utilizó dos criterios de elección de la teoría física mencionados ya. Aquí conviene caracterizarlos más detalladamente y exponer en forma breve y popular algunas ideas de la teoría de la relatividad. Hasta aquí se podía mencionarlos sin tal exposición, pero ahora la representación sobre los criterios de elección de la teoría física debe concretarse.

Estos criterios conducían la ciencia a la fusión del "avance de la razón" laplaceano con su "ensimismamiento". Einstein llamó al primer criterio justificación externa, que consiste en la correspondencia de la teoría con las observaciones empíricas. Si la teoría corresponde a las observaciones, comprendidas las observaciones nuevas, inesperadas y paradójicas, la razón, al promoverla, avanza explicando nuevos hechos. El segundo criterio es la "perfección interna" de la teoría que, en la medida de lo posible, no debe incluir las hipótesis *ad hoc*, es decir, especialmente presentadas para explicar un hecho dado, sino que debe partir de las hipótesis más generales posibles. El gran significado de la teoría de la relatividad de Einstein para la ciencia, la cultura y el estilo de pensamiento de los hombres dimana de que él explicaba algunos hechos paradójicos, partiendo de tales principios generales, que significaban la transformación de la razón misma, que significaban nuevas formas de conocimiento de la naturaleza y nuevos ideales de la ciencia.

¿Cuáles son estos hechos y en qué consistía la explicación?

La teoría de la relatividad parte del experimento que demostró que la luz se propaga con la misma velocidad en

los sistemas que se mueven uno respecto del otro. En relación a semejantes sistemas, la velocidad de la luz es la misma. Tal constancia de la luz en todos estos sistemas contradice la mecánica clásica y, a primera vista, está en pugna con lo evidente. Contradice la regla clásica de sumar las velocidades. Si un hombre anda a una velocidad de 5 km por hora por el pasillo del vagón de un tren que corre a una velocidad de 70 km por hora, la velocidad del pasajero, si va en la misma dirección que el tren, será 70+5=75 km por hora. Resulta que la luz se mueve en el tren a una velocidad invariable de 300.000 km por segundo, respecto al tren, a los rieles e incluso al tren que corre en dirección contraria. Einstein partió precisamente de este hecho paradójico, viendo en el mismo un principio muy general: el movimiento es el cambio de distancias entre un cuerpo en movimiento y otros cuerpos: cuerpos de referencia. Con la misma razón puede considerarse que estos cuerpos se mueven, mientras que al cuerpo que consideramos en movimiento puede atribuírsele reposo. Los cuerpos se mueven mutuamente, uno respecto a otro, y el movimiento no referido a otros cuerpos, el movimiento absoluto, es un concepto que no tiene sentido físico.

A partir del siglo XVII, semejante principio era conocido ya en la mecánica: si un sistema se mueve sin aceleración, dentro del mismo no se opera nada que demuestre su movimiento. Galileo mencionaba ya el ejemplo del camarote de un barco, en el cual revolotean mariposas, el agua gotea a través de un estrecho agujero, y el humo asciende; todos estos procesos se operan de igual manera en un barco inmóvil o en movimiento. Si los procesos mecánicos internos no permiten juzgar del movimiento, esto significa que el movimiento no consiste más que en el cambio de distancias entre los cuerpos y tiene un sentido relativo.

Pero con respecto a los procesos ópticos, en la física clásica existía un punto de vista distinto. Se consideraba que todo el espacio universal está lleno de éter y que en él se mueven las ondas electromagnéticas, la luz. El movimiento

con respecto al éter es el movimiento absoluto, que puede ser descubierto por el curso de los procesos internos en un sistema en movimiento. Si en el camarote del barco de que habló Galileo se coloca un farol del lado de la proa y una pantalla del lado de la popa, la luz del farol llegará a la pantalla más rápidamente cuando el barco se mueve. En este caso, la pantalla y la luz van al encuentro una a la otra. Sin embargo, a fines del siglo XIX, los experimentos ópticos demostraron ya irrefutablemente que la luz se propaga con la misma velocidad tanto en los sistemas inmóviles respecto del éter como en los que están en movimiento. No quedaba más que renunciar a la regla clásica de sumar las velocidades y reconocer que tampoco la óptica salvaba el concepto de movimiento absoluto, que los movimientos no pueden ser descubiertos de ninguna manera por los efectos internos en un sistema que se mueve.

Lorentz trató de salvar el punto de vista clásico, al suponer que todos los cuerpos que se mueven en el éter, cambian sus dimensiones en la medida que compensa el cambio de la velocidad de la luz en estos cuerpos. Así pues, el movimiento absoluto existe, manifestándose en el cambio de la velocidad de la luz, pero no se puede captar estas manifestaciones. La hipótesis de Lorentz poseía una "justificación externa", correspondiendo a las observaciones, pero le faltaba la "perfección interna", era artificial, inventada especialmente para explicar los resultados de los experimentos ópticos.

Einstein recurrió a hipótesis muy generales. Prestó atención a que los conceptos de tiempo absoluto y de simultaneidad absoluta carecen de contenido físico.

En la física clásica se tomaba como axioma el hecho de que un mismo instante único e idéntico empieza por doquier en todo el Universo. De tales instantes simultáneos se compone el curso del tiempo absoluto, que abarca al Universo. Pero, hablando con propiedad, ¿qué significa *en el sentido físico* la identidad de dos instantes, la simultaneidad de los acontecimientos operados en estos instantes? Einstein le

niega sentido físico al concepto de simultaneidad de acontecimientos en puntos alejados del espacio, si no existe la posibilidad de sincronizar los acontecimientos y demostrar que los relojes en los puntos donde se operan andan sincronizadamente. Newton podía hablar de tal sincronización. Admitía la propagación de fuerzas instantánea, que se opera con una velocidad infinita. Si el Sol atrae a la Tierra, y su interacción se propaga instantáneamente, se puede hablar de simultaneidad: en un mismo instante, el impulso parte del Sol e influye sobre la Tierra. La misma posibilidad de identificar los instantes y sincronizar acontecimientos distantes la daría una señal luminosa que se mueva instantáneamente. Se podría asimismo sincronizar los relojes en uno y otro punto, uniéndolos por un árbol rígido. Mas, hablando en rigor, todo ello son ilusiones. En la naturaleza, tanto los campos de fuerza como las señales luminosas y las tensiones en los árboles se transmiten con una velocidad finita. No queda más que identificar los instantes: 1) de la salida de la señal de un punto y 2) de su llegada a otro punto menos el tiempo del movimiento de la señal. Esto es fácil de hacer, si los puntos mencionados son inmóviles respecto del éter o si su movimiento está referido al éter. Pero la experiencia demostró que el reposo y el movimiento relativo al éter no tienen sentido. Si el tiempo de propagación de la señal se mide en los distintos sistemas, que se mueven uno respecto de otro, se obtienen distintos valores de este tiempo. Si en el centro de la cubierta de un buque se enciende la luz, iluminando la pantalla colocada en la proa, no cuesta trabajo comprobar los relojes en la proa y en el centro de la cubierta: basta con hacer una corrección, tomando en consideración la velocidad de la luz con respecto al buque, y descontar del tiempo en que se iluminó la pantalla el tiempo de propagación de la luz desde la fuente hasta la pantalla. Esto será precisamente el tiempo del destello de la luz. Pero si la luz y la pantalla iluminada se observan desde la costa, a lo largo de la cual navega el buque, el camino recorrido por la luz y el tiempo de su recorrido resultan mayores: la pantalla,

diríase, se aleja de la luz. Por eso, semejante sincronización sólo es posible cuando los cuerpos en los que se sitúan los puntos distantes y se operan los acontecimientos sincronizados, son inmóviles uno respecto de otro o se consideran en el mismo sistema de referencia. Pero Einstein demostró que se puede considerarlos con la misma razón en otro sistema; entonces lo que parecía inmóvil, resulta estar en movimiento, y viceversa; respectivamente, la sincronización da resultados distintos. Según la teoría de la relatividad, lo que parece simultáneo en un sistema, no lo será en otro sistema. La simultaneidad absoluta, independiente del sistema de referencia, no existe.

La eliminación de los procesos instantáneos obliga a desistir de la representación clásica sobre las correlaciones entre el espacio y el tiempo. Si en la naturaleza puede existir un proceso espontáneo, o sea, un proceso que se desenvuelve únicamente en el espacio en cero de tiempo, el concepto de espacio tridimensional posee sentido *físico.* Pero en la física relativista, esto es, en la física que parte de la teoría de la relatividad, este concepto pierde semejante sentido físico. Todo lo que ocurre en el mundo son movimientos con velocidad finita, movimientos en el espacio y el tiempo. No poseen equivalente físico el espacio y el tiempo por separado, sino únicamente espacio-tiempo cuatridimensional. Cada acontecimiento elemental –posición de una partícula en un punto dado y en un momento dado– se caracteriza por cuatro coordenadas: tres coordenadas espaciales del punto y una cuarta coordenada temporal, o sea, el tiempo del acontecimiento mencionado.

Los cuatro números (tres coordenadas espaciales y una temporal) forman un *punto universal,* determinando la posición de la partícula en el espacio-tiempo. El cambio de tal posición –movimiento de la partícula– se representa en forma de *línea universal* cuatridimensional, conjunto de puntos universales. Estos conceptos ya se han mencionado en la primera parte del libro.

Así pues, el "ensimismamiento de la razón", la consruc-

ción de nuevas formas lógico-matemáticas (en este caso, de la geometría multidimensional), adquirió sentido físico, se fundió con la explicación de nuevos hechos, con el "avance de la razón".

Einstein demostró que la velocidad de la luz es la velocidad límite a que puede acercarse y coincidir la velocidad de un objeto físico en movimiento, o sea, aquello que Einstein llamara *señal.* Mediante semejantes señales se realiza la conexión causal en la naturaleza. Las cadenas de causas-efectos son procesos que transcurren en el espacio-tiempo y poseen una velocidad límite, igual a la de la luz. Estas observaciones permiten formarse una idea de la *causalidad relativista.*

Como acabamos de decir la partícula no puede moverse más rápidamente que la luz. Si una partícula recibe nuevos y nuevos impulsos de la misma intensidad, el efecto de éstos es cada vez menor a medida que se aproxime la velocidad de la partícula a la de la luz. Esto puede expresarse también así: a medida que se acerca la velocidad de la partícula a la de la luz y crece, por consiguiente, la energía de la partícula, su *masa* crece y tiende a la infinitud. La masa de un cuerpo es proporcional a su energía. Einstein extendió esta proporcionalidad también a la partícula en reposo. En la ecuación mencionada, que vincula la energía y la masa, se encerraba el germen de la *civilización relativista:* la energética atómica y sus resonancias energéticas, tecnológicas, culturales, económicas y científicas.

Sin embargo, es hora ya de pedir perdón al lector. En vez de pronósticos, nos hemos dedicado a una extensa exposición popular de la teoría de la relatividad, teoría aparecida a principios del siglo, cuyo fin es el objeto de los pronósticos. Pero es imposible definir el siglo XX en conjunto sin conocer las ideas de Einstein que siguen siendo un importantísimo sostén de los pronósticos científicos no sólo para fines del siglo XX, sino también para el siglo XXI. Mas si se trata de las ideas de Einstein, es imprescindible dar a conocer aunque sea a grandes rasgos la teoría de la relatividad, pues se

sabe de vieja data que, viendo la representación de *Hamlet*, no cabe asombrarse con la presencia en la escena del príncipe danés.

Todo lo dicho sobre la teoría de la relatividad debe completarse con la siguiente observación.

Cada teoría física no puede ser completa en el sentido de dar una descripción exhaustiva de la naturaleza. Pero la teoría de la relatividad fue una de las primeras teorías que subrayó su carácter no acabado y, más aún, indicando los puntos en que se debía buscar las vías de una explicación posterior más completa, pero tampoco exhaustiva. Este es el estilo de la física no clásica. En un ensayo autobiográfico, escrito en 1949, que devino legado científico suyo, Einstein dijo que en la teoría de la relatividad existía una laguna evidente. Allí se define el concepto de sistema de referencia: cuerpo que puede ser prolongado ilimitadamente en todas las direcciones y se compone de escalas de medir intercruzadas de modo que cada cuerpo cuyo movimiento estudiamos puede tocar las escalas. Este contacto determina la posición espacial del cuerpo. El sistema de referencia tiempo-espacial cuatridimensional incluye, además, el reloj, necesario para contar el tiempo de un proceso que se repite periódicamente. El reloj puede ser colocado cerca de cada cruce de tres escalas. Entonces puede determinarse no sólo la situación espacial, sino también la temporal, o sea, la posición tiempo-espacial cuatridimensional del cuerpo en cuestión.

El sistema tiempo-espacial registra los distintos intervalos tiempo-espaciales, es decir, los segmentos de las líneas universales, en dependencia de cómo se mueven en el espacio los cuerpos que componen el mundo. La estructura del mundo se divide en líneas universales de partículas que lo componen. Pero el propio cuerpo de referencia resulta ser en este mundo un Estado dentro del Estado. Este cuerpo es como si no se compusiera de partículas: dentro de él, dentro de las escalas y relojes no pasan las líneas universales; en todo caso, la teoría de la relatividad no dice nada de ellas, cerrando los ojos a la estructura discreta de las escalas y re-

lojes. En sus notas autobiográficas, Einstein dice que la teoría de la relatividad introduce dos géneros de objetos físicos: 1) escalas y relojes y 2) todo lo demás. "En cierto sentido –anotaba Einstein–, esto es inconsistente; hablando en rigor, las escalas y los relojes deberían ser representados como soluciones de las ecuaciones básicas (pues son objetos de configuraciones atómicas en movimiento), y no como entidades teóricamente autosuficientes, por así decirlo"[2]. Más tarde, Heisenberg afirmaba lo mismo. A su juicio, las escalas y los relojes "se componen, hablando con propiedad, de muchas partículas elementales, en ellos influyen de una manera complicada distintos campos de fuerza, por lo cual es incomprensible por qué su conducta, precisamente, la deben describir leyes particularmente sencillas".[3].

Vincular la conducta de escalas y relojes con su estructura discreta significa deducir las leyes macroscópicas del movimiento de los cuerpos, como las expone la teoría de la relatividad, de la existencia y la conducta de las partículas más minúsculas.

Esta es una tarea científica muy amplia, planteada por la física de la primera mitad del siglo XX al período siguiente. De eso se tratará más adelante. Ahora hay que decir sólo que la misma teoría de la relatividad indicaba sus límites, considerándolos no como límites absolutos del conocimiento, sino como salidas a una teoría más general. La crítica de la teoría de la relatividad en la autobiografía de Einstein fue, en el fondo, pronóstico de su futuro desarrollo. Esta crítica señalaba el lado no cerrado de la teoría, trazando de este modo ciertos contornos de una nueva teoría futura, que posea una "perfección interna" y una "justificación externa" mayores. Por eso, la observación anterior tiene tanta importancia para el pronóstico científico contemporáneo.

---

[2] A. Einstein. *Philosopher-Scientist*, Ed. by Paul Arthur Schlipp. Evanston, Illinois, 1949, p. 59.

[3] W. Heisenberg. *Notas para el bosquejo einsteiniano de la teoría del campo unitario.* En la recopilación *Einstein y el desarrollo del pensamiento físico-matemático.* Moscú, 1962, pág. 65.

Su importancia será más clara si recordamos otro aspecto no cerrado de la teoría especial de la relatividad, otro enfoque para una teoría más general (¡"perfección interna"!) y más exacta (¡"justificación externa"!). Enfoque realizado por el mismo Einstein en 1916.

Trátase de la teoría general de la relatividad. La teoría presentada por Einstein en 1905 se llama teoría especial de la relatividad por ser justa tan sólo para un tipo especial de movimiento, para el movimiento por inercia, sin aceleración, con velocidad invariable, o sea, para el movimiento rectilíneo y uniforme. Este movimiento no puede ser registrado por los procesos internos que transcurren en el sistema móvil. Si este sistema, por ejemplo, el buque del cual habló Galileo, experimenta una aceleración, los cuerpos que se encuentran en él reciben un impulso. Se lo vincula con las fuerzas de la inercia. Si el sistema comienza a girar, aparecen en él las fuerzas centrífugas de inercia. Aquí, por lo visto, no existe ya la equivalencia de los sistemas de coordenadas. Newton aducía, en defensa del carácter absoluto del movimiento acelerado, el siguiente ejemplo. Un cubo de agua gira en una cuerda torcida. Las fuerzas centrífugas obligan al agua a subir al borde del cubo. Si el cubo pendiera inmóvil, girando en torno suyo los demás cuerpos, el agua no subiría. Por consiguiente, no se trata del movimiento relativo recíproco del cubo y los otros cuerpos; la causa de aparición de fuerzas centrífugas no es el movimiento del cubo de agua respecto de otros cuerpos, sino su movimiento respecto del espacio mismo, es decir, el movimiento absoluto.

Einstein privó de fuerza a este argumento y extendió el principio de la relatividad al movimiento acelerado, advirtiendo que en ciertas condiciones las fuerzas de inercia y las de gravitación son indistinguibles. Citaba el ejemplo de la cabina inmóvil, de un ascensor que se encuentra en el campo de atracción de la Tierra, y de la cabina que no experimenta gravitación, pero se eleva con la misma aceleración que la provocada por la gravitación. Todas las manifestaciones de las fuerzas de gravitación (primer caso) y las de

inercia (segundo caso) serán las mismas. Durante la elevación acelerada, las fuerzas de inercia apretarán las suelas del calzado de la gente al piso y tensarán las cuerdas de las que cuelgan las pesas del techo de la cabina, las tensarán de la misma manera que las fuerzas de gravitación en el caso de la cabina inmóvil.

La indistinguibilidad de las fuerzas de gravitación y las de inercia no permite ver en estas últimas la prueba de que exista el movimiento absoluto. Los mismos fenómenos se observarán en un sistema inmóvil o en movimiento uniforme, si en él actúan las fuerzas correspondientes de gravitación. El criterio de movimiento absoluto desaparece, convirtiéndose la relatividad restringida en relatividad generalizada: comoquiera que cambie el estado del movimiento, sea cual fuere el sistema de recuento a la referencia a que lo trasladamos y no importa cual sea en este sistema de referencia nuestro sistema de cuerpos —en reposo, en movimiento rectilíneo y uniforme o en movimiento con aceleración—, los procesos internos no nos permitirán descubrir estos cambios.

Pero aquí se necesitan suposiciones complementarias. Imaginémonos que a través de la cabina pasa un tenue rayo de luz. Si la cabina se eleva, el reflejo en la pared opuesta se desplazará hacia abajo; si la cabina está inmóvil y siente el efecto de la gravitación, este desplazamiento, al parecer, no se operará. De este modo hubiéramos obtenido la prueba absoluta del movimiento. Pero esta prueba no vale, si la luz posee peso, es decir, siente el efecto de la gravitación. La teoría general de la relatividad continúa siendo justa, si la luz posee peso. Resulta que la luz lo posee en efecto; esto se confirmó en 1919, al descubrirse la desviación de los rayos de luz que pasan cerca del Sol.

En la teoría general de la relatividad existe otra complicación más. En la cabina del ascensor no se puede advertir en la práctica que las fuerzas de gravitación y las de inercia tienen direcciones diferentes. Las dos pesas suspendidas de cuerdas en el techo de la cabina tensarán las cuerdas en direcciones paralelas, si la cabina comienza a elevarse con

aceleración, es decir, si actúan las fuerzas de inercia. Pero si la cabina está inmóvil, actuando en ella las fuerzas de atracción terrestre, o sea, las fuerzas de gravedad, las direcciones de las cuerdas no serán paralelas, las cuerdas tenderán al centro de la Tierra.

Aquí nos permitimos hacer una pequeña digresión. Al exponer la teoría de la relatividad como una de las fuentes del nuevo período de desarrollo de la ciencia, la técnica, la economía y la cultura, como uno de los acontecimientos más importantes de la historia espiritual y material de la humanidad, surge una pregunta embarazosa de la que se ha tratado ya. ¿Acaso una u otra dirección del rayo que atraviesa la cabina, una u otra inclinación de las pesas colgadas en la cabina y decenas de semejantes experimentos imaginables o reales pueden producir cambios radicales del estilo de pensamiento del hombre y de su poder sobre la naturaleza?

Tal efecto de incontables esquemas con espejos, pantallas, faroles, relojes, escalas, etc., es de hecho asombroso. Pero no más asombroso que el efecto del camarote de Galileo, donde revolotean mariposas, el agua gotea en un recipiente, y todo eso se opera de modo igual en un buque inmóvil y en uno que se mueve (Galileo insertó esta descripción en su *Diálogo* de 1633, que fue causa del procesamiento suyo, de una larga reacción en todo el mundo católico y de otros muchos acontecimientos históricos). Ni más asombroso que el efecto de los experimentos descritos en los *Principios matemáticos de filosofía de la naturaleza* de Newton, de los cuales parten las líneas de conexión histórica con la Gran Revolución Francesa y la revolución industrial inglesa. Ni más asombroso que el efecto de los períodos abstractos y vagos de Hegel, en los que Herzen vio el "álgebra de la revolución", lo cual se confirmó por entero en la segunda mitad del siglo XIX y en nuestro siglo.

Dentro de poco tiempo volveremos a estas asombrosas conexiones y efectos. Mientras tanto continuemos la breve exposición de la teoría general de la relatividad. Einstein advirtió la diferencia entre las fuerzas de inercia y las de

gravitación, consistente en que, hablando con propiedad, las fuerzas de gravitación son heterogéneas. Pero esta heterogeneidad puede ser eliminada. No vamos a considerar ahora cómo lo hizo Einstein; señalemos sólo el resultado de sus esfuerzos. Einstein analiza la gravitación como una modificación de las propiedades geométricas del espacio. En ausencia de campos gravitatorios, estas propiedades corresponden a la geometría euclidiana: dos paralelas conservan entre sí igual distancia; la suma de los ángulos del triángulo es igual a dos rectos; dos perpendiculares hacia la misma recta son paralelos, no coinciden ni se encuentran, por mucho que los prolonguemos. La subordinación de los procesos físicos a esta geometría consiste en que los cuerpos abandonados a su propia suerte siguen trayectorias correspondientes a las correlaciones euclidianas: las líneas universales de los cuerpos son líneas universales rectas; estas líneas forman triángulos euclidianos (la suma de sus ángulos es igual a dos rectos) y, en general, estas líneas no se diferencian esencialmente de las líneas descritas en la geometría de Euclides. La ley de la inercia puede ser expresada de la siguiente manera: las líneas universales de los cuerpos abandonados a su propia suerte (en otros términos, la conducta de los cuerpos que no depende de su interacción, sino de las propiedades del espacio) se supeditan a la geometría de Euclides; la geometría del Universo es la geometría euclidiana (puesto que para el tiempo se emplean unidades especiales, esta geometría se llama seudoeuclidiana).

Tal es la geometría del Universo desde el punto de vista de la física clásica. El espacio conserva rectilíneos y uniformes los movimientos de los cuerpos; las líneas universales no se encorvan, sin influjos externos, ni en el espacio (se conserva la dirección recta) ni respecto al eje del tiempo (se conserva la magnitud absoluta de la velocidad). Las curvaturas de la línea universal se atribuyen a las interacciones. En la teoría general de la relatividad, las líneas universales pierden sus propiedades euclidianas, pasando a ser no euclidiano el espacio-tiempo. Esto puede ser representado

como su curvatura. Tomemos una superficie curva. Las líneas más cortas (correspondientes a las rectas en una superficie plana) se supeditarán a una geometría distinta. Baste recordar que los meridianos perpendiculares al ecuador se cruzan en el polo, y que en un triángulo formado por segmentos de dos meridianos y el ecuador, la suma de los ángulos es mayor a dos rectos. El paso de las propiedades euclidianas del espacio bidimensional (plano) a las propiedades no euclidianas puede considerarse como curvatura de este espacio bidimensional. No puede imaginarse con tanta facilidad la curvatura del espacio tridimensional y, tanto menos, cuatridimensional. No obstante, Einstein supo hacerlo. Se apartó de la delimitación newtoniana del espacio "plano", o sea euclidiano, y de la interacción de los cuerpos que encorva sus rutas. Puesto que la gravitación encorva las líneas universales de *todos* los objetos físicos, se puede considerarla como curvatura de todo el conjunto de líneas universales, de todo el espacio-tiempo cuatridimensional. La ley de la gravitación de Einstein tiene forma de una ecuación en que, de un lado, están las magnitudes que miden la curvatura del espacio-tiempo y, del otro, las magnitudes que muestran la distribución de las masas, la distribución de todos los centros de energía e impulso, de todo lo que encorva el espacio-tiempo, convirtiéndolo en no euclidiano, en otros términos, sirve de fuente de los campos de gravitación.

Las teorías especial y general de la relatividad han sido expuestas aquí a muy grandes rasgos, tan sólo en el grado necesario para ilustrar la particularidad esencial del estilo del pensamiento físico del siglo XX: la síntesis del "ensimismamiento de la razón" y de su "avance". Esta síntesis es precisamente la base del gigantesco potencial intelectual de la ciencia contemporánea. Después de Einstein y Bohr, ella no vacila en someter a cualquier transformación las representaciones más generales y fundamentales. Lo que a comienzos del siglo hubiera parecido más que paradójico, tropieza hoy día con una observación escéptica: "Esta concepción es insuficientemente loca para ser justa". Pero esto no es todo.

Las propuestas más audaces y paradójicas sobre la sustitución de los principios fundamentales se comentan en el sentido de su posible comprobación experimental, de su posible "justificación externa" y la posible acumulación de comprobaciones univalentes verificadas por vía experimental, o sea, "el avance de la razón".

En ello consiste el potencial de la ciencia contemporánea. Mas para hacer un pronóstico hay que conocer, además del potencial, las direcciones más probables del avance. Para determinar hacia dónde se encauzará la corriente de agua hay que conocer no sólo el nivel del embalse, sino también la vaguada por la cual se precipitará el torrente. Para la ciencia, estas vaguadas son sus problemas irresueltos. Hemos tomado conocimiento de uno de estos problemas. Es la deducción de las leyes relativistas de la conducta de las escalas y los relojes a partir de su estructura corpuscular. Einstein formuló semejante problema en la caracterización de conjunto de la teoría especial de la relatividad. Al hacer el balance de la teoría general de la relatividad, planteó otro problema. La teoría general de la relatividad es la teoría de la gravitación. ¿Y otros campos? Al crearse la teoría general de la relatividad, se conocía, además del campo gravitatorio, el campo electromagnético. Einstein estuvo buscando durante treinta años una teoría unitaria de la cual se desprendiesen no sólo las leyes de la gravitación, sino también las del electromagnetismo. Estas búsquedas no resolvieron el problema. No fue creada la teoría del campo unitario. Pero ¿fue en vano la gigantesca tensión del cerebro más genial que conoce la historia de la física? ¿Fue en vano el gasto de fuerzas intelectuales en las búsquedas de esta teoría? En las décadas del treinta al cincuenta, mucha gente pensaba que estas búsquedas no darían resultados. Actualmente no se puede contestar a esto sin especificar un tanto el concepto de "resultado" cuando se trata de esfuerzos del pensamiento físico. Las búsquedas de la teoría unitaria no aportaron resultado positivo en el sentido de que no fueron encontradas ecuaciones que describieran el campo de gravitación y el

electromagnético. Pero la ciencia encontró, además de ellos, numerosos campos distintos. A estos campos corresponden las distintas especies de partículas elementales. Por consiguiente, hoy en día la tarea consiste no sólo en unificar la teoría de la gravitación con la del electromagnetismo, sino también en crear una teoría que deduzca de ecuaciones únicas los valores de la masa, la carga y otras propiedades de cada especie de partículas.

A veces, las búsquedas de una nueva solución desembocan en la demostración de su imposibilidad. Tales fueron las búsquedas del motor perpetuo y más tarde las de los fenómenos probatorios del movimiento relativo al éter. Estas búsquedas terminaron con el descubrimiento, en el primer caso, de la ley de la conservación de la energía y, en el segundo, de la teoría de la relatividad. Pero se dan también casos distintos. En la historia de la ciencia, las búsquedas infructuosas eran a veces interrogantes que la ciencia no podía contestar, preguntas dirigidas objetivamente al futuro. Estos interrogantes, a diferencia de los ya mencionados, no mueren, planteándose una y otra vez y pasando a formar parte de la herencia que cada época deja a la época siguiente. Es un *resultado* muy importante del pensamiento científico de cada época. Si no se tienen en cuenta el nivel de los conocimientos, sino la dinámica, el paso a un nivel nuevo, el componente "interrogador" de la ciencia resulta –y esto es particularmente importante para los pronósticos–no menos importante que los conocimientos positivos, que el componente "contestador".

Más adelante veremos que el principal pronóstico para fines del siglo consiste en obtener una respuesta a la cuestión planteada por Einstein sobre la teoría del campo unitario, mejor dicho, a la cuestión sobre la teoría única de las partículas elementales, que en nuestros días es cada vez más imperativa. Por supuesto, cabe recordar que el "pronóstico" es en este caso sólo un seudónimo de la comprobación de la tendencia perfilada.

Para imprimir al término "pronóstico" un sentido más directo es insuficiente caracterizar el potencial intelectual de

la ciencia (comprobación de la comunidad y la amplitud de sus proposiciones iniciales y síntesis del "ensimismamiento" y "avance") y las vaguadas (problemas maduros e irresueltos). Tenemos que dirigirnos también a las fuerzas del desarrollo de la ciencia, vinculadas con su efecto y con el volumen de esfuerzos intelectuales y materiales que la sociedad aplica para resolver los problemas científicos.

Hemos hablado hasta ahora de las ideas de la relatividad, las ideas de la teoría del campo unitario, las colisiones ideológicas y la síntesis de la profundización lógica de las ideas y la concepción experimental del mundo. Hemos visto en todo ello eslabones de partida del pronóstico científico. ¿Se deduce de ahí que las ideas gobiernen el mundo, que puedan explicar el curso del progreso científico y social?

No, las ideas no gobiernan el mundo. La fuerza motriz del progreso social es, en resumidas cuentas, el desarrollo de las fuerzas productivas de la humanidad. Este papel de las fuerzas productivas ha sido confirmado por toda la historia del género humano y, en la forma más elocuente, por la historia de los últimos decenios. Ahora todo el mundo sabe que la liberación de la energía atómica ha determinado los procesos tecnoeconómicos, sociales y culturales más importantes de la contemporaneidad. Todo el mundo sabe, al mismo tiempo, que la energía atómica no se ha liberado a raíz del autodesarrollo lógico de la idea en las mentes humanas, sino merced al desarrollo de la industria y el experimento. Actualmente, la ciencia no se distingue de la industria en el sentido de que forma con ella un conjunto único, donde cada rama no puede existir y desarrollarse sin otras. En cuanto al experimento, la ciencia contemporánea es experimental de cabo a rabo más que nunca. Aquí se debe volver al efecto, que nos ha asombrado ya, de los esquemas experimentales con espejos, rayos de luz y cabinas de ascensor. El quid del asunto estriba en que hoy en día las grandiosas revoluciones del pensamiento, las grandiosas transformaciones del estilo y la lógica del pensamiento científico (los "ensimismamientos de la razón" más grandes) son inseparables de la concep-

ción univalente de nuevos y nuevos hechos ("avance de la razón"). Esta síntesis de los dos movimientos de la razón, que otrora Laplace opuso entre sí, es el principal enigma de la ciencia del siglo XX, recibiendo su expresión más clara en la fusión de los criterios de la "perfección interna" y la "justificación externa"; y el resultado más importante de su fusión fue la teoría de la relatividad. La idea principal del presente libro consiste en que la perspectiva de una síntesis más profunda aún del "ensimismamiento de la razón" y su "avance" constituye el punto de partida de los pronósticos del progreso científico. Subrayemos una vez más que no puede tratarse del autodesarrollo lógico de las ideas como fuerza motriz fundamental del progreso ni mucho menos. Tal autodesarrollo siempre se ha apoyado en el experimento, la industria y la verificación empírica, o sea, en la "justificación externa". Actualmente, las ideas mismas se desarrollan en forma de experimentos mentales y reales. La teoría de la relatividad se caracteriza por excluir radicalmente de la concepción del mundo todas las nociones que por principio no conducen al experimento, todas las representaciones (por ejemplo, las representaciones sobre el movimiento en el éter y sobre el éter mismo), que no pueden ser objeto de comprobación experimental. Por eso, precisamente, la exposición de la teoría de la relatividad exige, por lo común, esquemas experimentales con espejos y rayos de luz, esquemas que, en última instancia, son tan importantes para la evolución espiritual y el desarrollo de las fuerzas productivas de la humanidad.

Del estilo experimental del pensamiento científico de nuestros días, de la síntesis de la "perfección interna" y la "justificación externa", de la síntesis del "ensimismamiento" y el "avance" se deduce una forma más alta de dinamismo, propia de la ciencia moderna. En el pasado, las concepciones científicas se deducían de esquemas lógicos que parecían inconmovibles. Los datos experimentales formaban parte de la ciencia sin hacer tambalear sus principios de partida. Actualmente, el experimento sirve de base de la revisión radical

de los principios de partida. De ahí la nueva dinámica del progreso científico y técnico. Hemos hablado ya de los ensayos de control en los laboratorios fabriles como garantía del nivel técnico proyectado, de las búsquedas de nuevos diseños y procedimientos técnicos como garantía de la velocidad no igual a cero del progreso técnico; de las búsquedas de nuevos esquemas físicos ideales como garantía de la aceleración de este progreso y de las investigaciones básicas que conducen al incremento de la aceleración misma. La ciencia del siglo XX se caracteriza precisamente por el dinamismo de los principios de partida, que pasaron a ser objeto de comprobación experimental (en ello consisten precisamente las investigaciones básicas). Este dinamismo está relacionado con la síntesis de la lógica y el experimento, con "el ensimismamiento de la razón" y su "avance".

Con tal síntesis está vinculado el carácter *evidente* de la dependencia del progreso científico respecto del desarrollo de la producción, descubierta ya en el siglo XIX. Partiendo de esta dependencia, tratemos de determinar ahora cuál es la síntesis más elevada del "ensimismamiento" y el "avance" que dimana de la amplia aplicación industrial de la física relativista y cuántica. Estamos convencidos de que esta síntesis es precisamente el principal pronóstico para la ciencia de fines del siglo XX.

EL ÁTOMO

En la primera parte del libro, en el ensayo *Condiciones iniciales*, se ha hablado ya de las noozonas, esferas donde las leyes de una serie de fenómenos se transforman en leyes distintas, específicas para otra serie e irreductibles a las primeras. Ahora podemos ilustrar semejantes transformaciones y demostrar, a la vez, que en ellas, precisamente, se encuentran las zonas más plásticas, donde la actividad racional del hombre crea las condiciones iniciales, ordena el mundo, forma la entropía negativa de partida que predetermina, en una

u otra medida, el curso de los procesos objetivos. En la ciencia y la técnica modernas pasan a ser noozonas los eslabones de la jerarquía de las partes discretas de la sustancia que antes no podían experimentar la influencia ordenadora del hombre. Ahora se tratará del núcleo atómico y las reacciones nucleares. Aquí se crea la zona de transición de las leyes y correlaciones que determinan la existencia de núcleos estables a las leyes de la fisión y la fusión de núcleos, de su transformación en núcleos distintos. Para las reacciones de la fisión nuclear es esencial la existencia de cierta masa crítica en la cual la fisión de núcleos adquiere un carácter de reacción en cadena. La obtención de la sustancia fisible en bloques de la masa crítica es ejemplo de creación de las condiciones iniciales que predeterminan el curso del proceso. En el caso de la fusión de núcleos, las condiciones iniciales incluyen una temperatura muy alta. En los dos casos trátase de una recomposición de las condiciones de partida, iniciales, en la cual empieza el proceso imaginable de antemano (y que puede por eso desempeñar el papel de finalidad de la actuación humana). La creación de bloques de uranio o plutonio fisible es análoga, en el fondo, a la creación de un desnivel concentrado del potencial de agua en los tramos superior e inferior de la presa o de un desnivel de temperatura entre la caldera y el condensador de la máquina de vapor. Sin embargo en la energética nuclear tropezamos con concentraciones incomparablemente mayores de energía, con desniveles incomparablemente mayores y con una estructura plástica, que admite la intervención racional en campos tiempo-espaciales muy pequeños. Sin embargo, aquí es mejor detenernos y recordar a los lectores que esperan explicaciones para comprender de qué se trata, de qué núcleos, de qué procesos de fisión y fusión. Por lo visto, son una minoría, pues en nuestros días, las representaciones sobre los procesos nucleares que liberan 2.200 kW-hora de cada gramo de la sustancia fisible están ampliamente difundidas. Pero los intereses de la minoría deben tomarse en consideración, por lo tanto aquí son oportunas unas breves explicaciones.

La teoría de la relatividad vinculó la energía del cuerpo con su masa por la relación $E=mc^2$. Más tarde, esta relación permitió explicar un resultado importante de la física nuclear. La masa del núcleo es algo menor que la suma de masas de las partículas nucleares –protones y neutrones–, de las que se compone el núcleo. La diferencia (se la llamó "defecto de masa") es mayor en unos elementos y menor en otros. Desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, esta diferencia puede ser vinculada con la energía de enlace de las partículas en el núcleo y explicada por la diferencia entre la energía de las partículas nucleares tomadas por separado (o sea, la suma de la energía del núcleo desintegrado, la suma de la energía de las partículas nucleares no unidas aún en un todo) y la energía completa del núcleo. La energía del núcleo es menor que la suma de energías de sus partículas, por lo cual su masa es menor que la suma de masas de las partículas. Al unirse las partículas en un núcleo, se libera la energía, disminuyéndose respectivamente la masa. En unos núcleos, las partículas están agrupadas de un modo más compacto, la diferencia entre la energía del núcleo y la suma de energías de sus partículas es relativamente mayor, siendo mayor respectivamente el defecto de masa. En los núcleos de otros elementos, las partículas no están agrupadas tan compactamente, siendo menor el defecto de masa. Por supuesto, no se trata de la diferencia dependiente de la relativa magnitud de los núcleos (que pueden componerse de varias partículas, de varias decenas de partículas, y los núcleos de los elementos más pesados, de más de doscientas partículas), sino del defecto de masa que corresponde a una partícula, del defecto específico de masa.

Supongamos que hemos reagrupado las partículas, colocándolas en el núcleo de manera que ha crecido el defecto de masa. Merced a semejante agrupamiento más compacto, más económico, se libera una parte de la energía. ¿A qué transiciones de un elemento a otro corresponde tal liberación de la energía?

La tabla de Mendeléiev comienza con el hidrógeno, cuyo núcleo atómico se compone de un protón. Por supuesto, aquí no existe el defecto de masa. El núcleo del elemento siguiente, el helio, está integrado por dos protones y dos neutrones, existiendo un considerable defecto de masa. La fusión de los núcleos de helio a partir de los de hidrógeno (es decir, de los protones) y los neutrones liberaría una cantidad relativamente grande de energía. En el centro de la tabla de Mendeléiev se encuentran elementos con un defecto específico de masa mayor que en los elementos ligeros (al comienzo de la tabla) y que en los elementos pesados (al final de la tabla). Por eso, con la fisión del núcleo de uranio (238 partículas nucleares) en dos núcleos (de 115 a 120 partículas nucleares en cada uno), pasaríamos a un agrupamiento más económico de las partículas y, respectivamente, a un mayor defecto específico de masa. En este caso se habría desprendido la energía. Este desprendimiento de la energía no habría liberado más que una pequeña parte de la energía correspondiente a toda la masa de la sustancia. Aquí no se utiliza aún la energía próxima a la masa de partículas multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Pero la energía liberada por tal fisión es millones de veces mayor que la obtenida de la misma cantidad de sustancia, al reagruparse los átomos en las moléculas, por ejemplo, al quemarse el combustible. En la física atómica, la energía suele medirse en electronvoltios. El electrón-voltio es la energía que un electrón adquiere al pasar la diferencia de potenciales igual a un voltio. Al desintegrarse un núcleo de uranio se desprenden 200 MeV, de energía, o sea, varios millones de veces más de lo que corresponde a un átomo en las reacciones químicas que producen energía, por ejemplo, al quemarse el combustible. Un gramo de uranio proporciona más calor que tres toneladas de hulla quemada.

La posibilidad práctica de reagrupar las partículas nucleares para que formasen núcleos con mayor defecto de masa y de utilizar la diferencia del defecto de masa empezó a perfilarse en la década del treinta. A sus comienzos fueron des-

cubiertas las partículas mencionadas ya, que no tienen carga eléctrica: los neutrones. Carentes de carga, los neutrones no experimentan la repulsión por parte de los núcleos, pueden penetrar fácilmente en ellos y provocar las reacciones nucleares. Hasta fines de la década del treinta no se conocía más que las reacciones nucleares de desintegración radiactiva, cuando del núcleo se desprenden una o varias partículas nucleares, pasando el elemento a la casilla contigua o próxima de la tabla de Mendeléiev. En 1939 se descubrió que, al bombardear al uranio con neutrones, el núcleo de uranio se desintegra en dos partes casi iguales: núcleos atómicos de los elementos que se encuentran en el centro de la tabla de Mendeléiev. La diferencia en el defecto de masa ya ha sido indicada (200 MeV, así que a cada partícula nuclear corresponde alrededor de un millón de electronvoltios de "economía". La liberación de esta energía (liberación correspondiente a la disminución de la masa del núcleo de uranio durante su desintegración) en forma de energía cinética de fragmentos de núcleos de uranio y en forma de radiaciones va acompañada del desprendimiento de nuevos neutrones de los núcleos en desintegración, neutrones que van a parar en otros núcleos. De este modo, en ciertas condiciones surge una reacción en cadena o, en otros términos, el primer neutrón (ellos pueden surgir en el uranio de modo espontáneo o bajo el efecto de los rayos cósmicos) provocará la fisión de toda la masa de uranio.

La reacción en cadena no se interrumpe, si al desintegrarse el núcleo se desprende un número de neutrones que, por término medio, es mayor a la unidad, es decir, por cada neutrón gastado se desprende más de un neutrón nuevo. Impide el desarrollo de la reacción en cadena la captura de neutrones por los núcleos, que no se dividen durante la captura. La reacción en cadena no se producirá, si los núcleos captan, sin desintegrarse, neutrones en demasía de cada grupo de nuevos neutrones desprendidos. El uranio natural corriente se compone principalmente de dos isótopos: uranio-238 con 238 partículas nucleares y uranio-235 con 235 par-

tículas (existe también un tercer isótopo: uranio-233 con 233 partículas; su parte en el uranio natural es ínfima). La proporción del uranio-238 es 140 veces mayor que la del uranio-235. Los núcleos de estos isótopos reaccionan de diferente manera al impacto del neutrón lento (con energía no mayor de dos MeV). Los núcleos del uranio-238, al captar tal neutrón, se convierten en núcleos de un isótopo nuevo: uranio-239. Así pues, no se desintegran. Cada nuevo neutrón tiene mucho más probabilidades de ser captado por el núcleo del uranio-238 que de provocar la fisión y participar en la reacción en cadena.

Por eso no se produce la reacción en cadena en el uranio corriente, natural. Otra cosa es cuando se separa el uranio-235. Los núcleos de este isótopo se dividen al dar el neutrón en el núcleo, y en el uranio-235 puro, que se separa, comienza la reacción en cadena. Pero aquí se necesita una condición complementaria. Si el fragmento del uranio-235 es pequeño, la mayoría de neutrones lo abandonará sin provocar la fisión de los núcleos: para que se produzca una reacción en cadena se necesita un fragmento del uranio-235 no menor de cierta masa crítica.

Ahora veamos que ocurre cuando el núcleo del uranio-238 capta al neutrón. Este núcleo se convierte en núcleo del uranio-239. Este isótopo se desintegra muy rápidamente, transmutándose en isótopo de neptunio-239, un elemento nuevo de la tabla de Mendeléiev, artificialmente obtenido, el primero de los elementos más pesados que el uranio: transuranios. Luego, el neptunio, cuyo período de semidesintegración es de 2,3 días, se convierte en isótopo de *plutonio*. Bajo la influencia de neutrones, los núcleos del plutonio se fisionan de modo análogo que los núcleos del uranio-235.

Los neutrones con energía menor de dos MeV provocan la fisión del uranio-235 y del plutonio. De haberse logrado disminuir las probabilidades de captura de neutrones por el uranio-238, habrían podido mantener la reacción en cadena también en el uranio natural. Los neutrones muy lentos están sujetos a tal probabilidad. Pero ¿cómo puede lograrse que

los neutrones relativamente rápidos, que se forman al desintegrarse el uranio-235 (la energía de estos neutrones es por término medio, de unos dos MeV), disminuyan su velocidad, que su energía se rebaje a unos cuantos electronvoltios y menos, antes de encontrarse con los núcleos del uranio-238? Con tan pequeña energía, los neutrones evitan la captura por los núcleos del uranio-238, provocan la fisión del uranio-235, y, bajo las condiciones necesarias, empieza la reacción en cadena. El problema puede ser resuelto si se atraviesa el espesor del uranio natural con otra sustancia que frena, pero apenas capta neutrones. Como semejante moderador puede figurar el hidrógeno: sus núcleos, en el caso de colisión elástica con neutrones, disminuyen la velocidad de éstos. Pero a menudo los núcleos de hidrógeno captan a los neutrones, formando núcleos del hidrógeno pesado: deuterio. Por eso, al utilizar el agua como moderador, es decir, una sustancia que contiene gran cantidad de hidrógeno, no obtenemos la reacción en cadena en el uranio natural; el agua, como moderador, sirve si usa uranio beneficiado, que contiene más cantidad de uranio-235 que el uranio natural. El deuterio, es decir, el hidrógeno pesado, cuyo núcleo contiene, además del protón, también un neutrón, capta menos neutrones, y si se utiliza el agua pesada (es decir, una sustancia en que el hidrógeno ha sido sustituido con el deuterio), puede usarse el uranio natural. Como moderador puede emplearse también el grafito; barras de uranio en un bloque de grafito fueron utilizadas ya en el primer reactor nuclear.

Ahora unas cuantas palabras sobre los reactores en los cuales la desintegración de los núcleos de uranio se utiliza para obtener el calor y generar la energía eléctrica. Los fragmentos de los núcleos poseen una gran energía cinética y la transmiten al medio, elevando su temperatura. Para que la elevación de la temperatura no destruya el reactor, en la "zona activa", es decir, en el espacio donde se opera la fisión del uranio, se introducen barras de cadmio, que absorben fuertemente los neutrones. La introducción de estas barras permite regular la reacción y el desprendimiento del calor.

La evacuación del calor se efectúa con ayuda del refrigerante: el agua, el metal fundido o un gas químicamente poco activo.

El comienzo de la energética atómica y del siglo atómico no son las bombas atómicas ni mucho menos. El comienzo de la época de los motores térmicos no fueron las armas de fuego que pueden considerarse como cilindro del que, bajo la presión de gases en expansión, sale el pistón en forma de proyectil o bala. Tal motor de un tiempo no significó el comienzo de la termoenergética, aunque obligase, precisamente, a Leibnitz, Huygens y Papin a pensar en un motor industrial, que transformara la presión del gas o vapor en trabajo mecánico. Los primeros reactores, que producían el plutonio para las bombas atómicas, realizaron un esquema físico que, al transformarse, pasó a ser base del empleo propiamente energético de los reactores atómicos. La transformación fue bastante profunda, aunque no tan radical y en absoluto tan larga como el período que media entre las armas de fuego y los motores térmicos. En los reactores que preparaban el plutonio para las bombas atómicas transcurrían dos procesos nucleares principales. El primero de ellos consistía en la fisión de los núcleos del uranio-235. Como se ha dicho ya, para que este proceso continuase, convirtiéndose en reacción en cadena, y para que no disminuyera el número de neutrones que se desprenden durante la fisión, provocando la fisión de otros núcleos del uranio-235, había que disminuir la velocidad de los neutrones. Pero tal disminución, sin permitir a los núcleos del uranio-238 captar demasiado número de neutrones, no eliminaba por completo semejante captura. Esta última era el segundo (y, desde el punto de vista de la faena industrial, el primer) proceso fundamental que se operaba en el reactor. En fin de cuentas, la captura de neutrones por los núcleos del uranio-238 convertía a este último en plutonio.

Supongamos que el plutonio formado en el reactor se utiliza en el mismo reactor: sustituye el combustible nuclear quemado, experimenta la fisión, emite nuevos neutrones, y

una parte de éstos va a parar en los núcleos de plutonio, manteniendo la reacción en cadena, y la otra, en los núcleos del uranio-238, convirtiéndolos, en fin de cuentas, en nuevos núcleos de plutonio.

Llegamos a un esquema físico cuya ancha aplicación práctica constituirá una revolución muy radical en la energética. El quid del asunto está en el número de neutrones sobrantes respecto de los necesarios para mantener la reacción en cadena y que crean un nuevo combustible nuclear. El plutonio se creaba también anteriormente, en los primeros reactores, que producían cargas de bombas atómicas. El plutonio constituía la producción fundamental de estos reactores. Pero este elemento no volvía al reactor, no completaba el combustible nuclear, no era tal combustible, no participaba en la reacción controlable ni servía de fuente de energía, de base de centrales atómicas. La fisión del plutonio no era una reacción en cadena controlable, con velocidad constante, se operaba en forma de explosión. Aquí existe una analogía completa con las armas de fuego (el acto único de salida del pistón) y el motor térmico alternativo (movimiento de avance y retroceso del pistón que mantiene las expansiones seguidas de vapor o gas).

Unas palabras más sobre esta analogía. Durante su explosión, la bomba atómica de plutonio es un reactor rápido puramente energético (que no produce combustible atómico, sino únicamente energía). Huelga decir que esta definición no es menos convencional que la del cañón como motor térmico: la bomba es un reactor de un tiempo. ¿Se puede convertirlo en reactor controlable que entregue constantemente energía para usos industriales? ¿Es posible una central eléctrica atómica, donde los neutrones no frenen?

Recordemos que este frenado era necesario para mantener la reacción en cadena. Sin él, los neutrones libertados en el uranio natural, al desintegrarse los núcleos del uranio-235, habrían ido a parar en los núcleos mucho más numerosos del uranio-238, siendo capturados por éstos sin la fisión y la formación sucesiva de neutrones. Pero la situación cambia

si el reactor atómico contiene únicamente (o en cantidad muy grande) el uranio-235. En este caso, los neutrones rápidos no van a parar ya en los núcleos del uranio-238, pues estos últimos faltan o son muy pocos en la zona activa del reactor. La reacción en cadena continúa. El factor de multiplicación (número probable de neutrones libertados durante la fisión provocada por un neutrón) será mucho más alto que en el caso de los neutrones térmicos lentos. Pero la reacción controlable no necesita la rápida multiplicación de neutrones ni la respectiva propagación de la fisión a un número de núcleos atómicos que aumente en progresión geométrica. El número excesivo de neutrones bastará para suplir distintas pérdidas (absorbción de neutrones por los materiales de que están hechos los equipos del reactor, por el agente refrigerante, etc.) y, además, para que una parte de los neutrones vaya a parar de la zona activa al grosor del uranio natural, que envuelve al uranio-235, y transforme una porción del uranio-238, que predomina allí, en el uranio-239, que se convertirá en neptunio y, luego, en plutonio. Este último sustituirá el uranio-235, que se encuentra en la zona activa central. El reactor podrá funcionar sin que se introduzca en él desde fuera un nuevo combustible nuclear: materiales fisibles. Es más, se puede conseguir que el número de nuevos núcleos de plutonio sea mayor que los núcleos del uranio-235 fisionados o que núcleos de plutonio, o sea, que el reactor produzca más combustible nuclear que el que consume. Se puede conseguir, por ejemplo, que cada dos núcleos fisionados de plutonio provoquen la formación de tres núcleos nuevos de plutonio a partir de los núcleos del uranio-238. Pronto volveremos a esta particularidad de los reactores superregeneradores.

El reactor en cuestión se llama reactor de neutrones rápidos. Por lo visto, le pertenece el futuro. Pero únicamente el futuro. En el presente, estos reactores aún no pueden competir felizmente con los reactores de neutrones lentos. La utilización de estos últimos reactores tiene ciertas ventajas. La zona activa del reactor autorregenerador, zona donde se

opera la fisión de núcleos y se desprende el calor, es muy pequeña. Siendo así, es muy difícil y complicado evacuar el calor. El reactor de neutrones lentos no tiene este defecto, por lo cual la evacuación del calor es más fácil, sencilla y, correspondientemente, más barata. Pero aquí disminuye el número de neutrones desintegradores, disminuye el número de nuevos neutrones, de modo que su balance no permite obtener del uranio-238 una cantidad de combustible nuclear mayor que la gastada. Sin embargo, utilizando neutrones lentos también puede conseguirse el incremento del combustible nuclear. Hace mucho ya que se conoce que el torio, elemento más frecuente en la corteza terrestre que el uranio, al captar neutrones, se convierte en isótopo de uranio con un núcleo constituido por 233 partículas. Este uranio-233 es uno de los componentes del uranio natural, pero su contenido es aún muchas veces menor que el del uranio-235. La circunstancia que señalaremos a renglón seguido hizo muy importantes este isótopo y la posibilidad de obtenerlo del torio. La cosa es que el uranio-233, lo mismo que el plutonio y el uranio-235, se desintegra bajo la influencia de los neutrones, constituyendo por eso otra especie más de combustible nuclear. El número de neutrones que se libertan al desintegrarse el uranio-233 es relativamente grande y suficiente para provocar el incremento de la reserva de combustible nuclear, si se utilizan incluso neutrones lentos. La zona activa, donde se quema el uranio-235, puede ser cubierta con torio. Los neutrones que van a parar en el torio provocarán la formación del uranio-233.

Este esquema —el empleo de torio, en vez de uranio, por estar aquél más difundido, y la preparación en el reactor de una cantidad de combustible nuclear mayor que la que consume— tiene primordial importancia para el problema de los recursos energéticos. Pero antes de tratar este tema, volvamos a las observaciones ya hechas en el primer capítulo sobre el carácter del progreso técnico en el siglo atómico: sobre el cambio no sólo de los diseños y los esquemas tecnológicos, sino también de los ciclos físicos ideales, hacia

cuya plasmación máxima posible tiende la técnica en desarrollo.

Esta es, precisamente, la evolución de los reactores. Paralelamente al progreso netamente técnico, es decir, a una realización técnica cada vez más completa de cada esquema físico (elección de la nueva forma de diseño del reactor, del nuevo moderador o el nuevo refrigerante) se opera el remplazo del mismo esquema físico ideal. Precisamente este es el paso de los reactores que consumen combustible nuclear renovable desde fuera a los reactores superregeneradores. Aquí se emplea un nuevo esquema físico, y el progreso técnico pasa a ser tecnocientífico, aportando no sólo la información tecnológica, sino también los datos sobre las regularidades de las reacciones nucleares, ampliando los marcos de la técnica dependientes del esquema físico y acercándose al ciclo ideal que se modifica a sí mismo, sustituyéndose con otro ciclo ideal.

Semejantes cambios del ciclo ideal, canon a que aspira el progreso técnico, se producían, como se ha dicho ya, también en los tiempos clásicos. Pero las nuevas pautas del progreso técnico, relacionadas con los nuevos esquemas físicos ideales, aparecían sólo de vez en cuando. Los esquemas físicos se establecían para un siglo, más o menos. Eran los esquemas de la física clásica. En nuestros días, a lo largo de la vida de una sola generación se opera el desgaste moral no sólo del diseño, sino también de los esquemas físicos ideales. Estando lejos aún de realizarse en formas estables el esquema de liberación de la energía atómica a cuenta del combustible nuclear obtenido mediante la fisión de isótopos, la reacción de captura de neutrones y de transmutación sucesiva de núcleos del uranio-238 se ha hecho prácticamente aplicable, comenzando a pretender a este papel, luego, un sistema más complejo de reacciones que conducen a la reproducción del combustible nuclear; y vislúmbrase en perspectiva la reacción termonuclear como fuente de energía. Cada eslabón nuevo se convierte en punto de partida, si no de cambios económicos, sí de pronósticos; a las instituciones de planifi-

cación acuden ya no sólo especialistas en física aplicada, sino también experimentadores y teóricos de los campos de la ciencia pura, y cuanto más "puro", más general es este campo, tanto más radicales (aunque también más inciertos) son los cambios que promete.

Hemos tocado ya esta jerarquía de concepciones científicas cada vez más generales y de pronósticos vinculados con ellas, que en nuestros días son cada vez más radicales y menos determinados. Los reactores superregeneradores ocupan en este sistema un lugar medio. Podemos valorar con gran certidumbre el efecto cualitativo de su transformación en componente fundamental de la energética atómica.

El pronóstico físico-técnico –posibilidad de construir reactores superregeneradores– permite evaluar debidamente el pronóstico económico que se sugiere al analizar los proyectos de fines de la década del sesenta y comienzos de la del setenta. Este pronóstico predice la transformación, para comienzos del siglo XXI, de la energética atómica en componente predominante del balance de energía eléctrica. De la perspectiva del paso a los reactores superregeneradores dimana que semejante transformación sea un peldaño hacia una predominación más decisiva aún de la energética atómica. Podemos imaginarnos que los reactores superregeneradores asegurarán el predominio creciente de la energética atómica, hasta que el empleo de las reacciones termonucleares elimine por completo el problema de la escasez y agotamiento de los recursos energéticos.

Pasemos a este peldaño más alto de la energética atómica. No puede servir aún de base para pronósticos con el grado de certidumbre típico de la energética atómica, que utiliza la fisión de núcleos pesados. Aquí también existe la siguiente correlación: cuanto más radical es la transformación pronosticada de la técnica y la economía, tanto más indeterminado es el pronóstico mismo en el sentido de vías y plazos concretos. La energética termonuclear promete una transformación más profunda de la energética y un "influjo de resononcia" más potente, que el de la fisión de núcleos pesa-

dos, sobre el carácter del trabajo y la tecnología. Trátase de un esquema físico nuevo por principio, cuya diferencia de todas las vías de utilización de los elementos pesados es mucho mayor que la existente entre ellas. La energética termonuclear, que emplea una parte de la energía interna de las partículas diez veces mayor, más o menos, que la utilizada por la energética atómica, de la que se ha tratado hasta ahora, no se basa en la fisión de los núcleos pesados de uranio y plutonio, sino en la fusión de núcleos muy ligeros. Se ha dicho ya que al comienzo de la tabla periódica de Mendeléiev, el defecto de masa (confrontado con la compacidad de agrupamiento de las partículas nucleares) crece con rapidez. Por supuesto, el núcleo atómico de hidrógeno, constituido por una partícula (protón), no tiene el defecto de masa, pero los núcleos más pesados, que contienen dos, tres y más partículas, poseen el defecto de masa. Por eso, la fusión de los núcleos ligeros, que forma núcleos un tanto más pesados, libera la energía. Semejante reacción, precisamente, mantiene la energía de las estrellas. Estas emiten la energía al espacio, pero esta pérdida se compensa con la fusión de los núcleos ligeros de hidrógeno.

La siguiente reacción concreta de la fusión reviste el mayor interés. Tenemos núcleos de deuterio, isótopo de hidrógeno, o sea, núcleos, cada uno de los cuales incluye, además del protón, un neutrón, componiéndose de este modo de dos partículas nucleares. Existe el isótopo de hidrógeno con tres partículas nucleares: un protón y dos neutrones. Este isótopo se llama *tritio*. El defecto de masa por unidad, es decir, el defecto específico de masa, es en el tritio un tanto mayor que en el deuterio. Si un núcleo de deuterio (un protón y un neutrón) choca con otro núcleo de deuterio (un protón y un neutrón más), puede formarse un núcleo de tritio (un protón y dos neutrones) y un núcleo de hidrógeno corriente (un protón). El resultado también puede ser distinto: la fusión de dos núcleos de deuterio formará un núcleo de isótopo de helio con tres partículas (dos protones y un neutrón) y un neutrón libre.

Mas para su fusión, los núcleos deben acercarse uno a otro a una distancia del orden de sus dimensiones lineales. Entretanto, los núcleos (en el caso en cuestión, los de deuterio) tienen cargas eléctricas iguales, repulsándose mutuamente. Esta repulsión se supera, si los núcleos poseen una energía cinética suficiente, que corresponda a una temperatura del orden de cien millones de grados centígrados. Por eso, las reacciones de fusión de los núcleos ligeros se llaman termonucleares. Al estallar una bomba de hidrógeno, la explosión de plutonio o del uranio-235 crea una temperatura necesaria para el comienzo de la reacción termonuclear. La más radical revolución energética que podemos imaginarnos partiendo de los principios físicos que conocemos ya, consiste en la utilización de la reacción termonuclear controlable.

La fusión de los núcleos de helio a base de los núcleos de deuterio cobra intensidad a una temperatura de varios millones de grados. Para que esta fusión proporcione cantidades de energía prácticamente notorias se necesitan temperaturas de varias centenares de millones de grados. A tales temperaturas, toda sustancia se convierte en plasma, o sea, en mezcla de átomos que han perdido sus capas electrónicas, y de electrones desprendidos de los átomos. Al ascender la temperatura a varios miles de grados, comienza ya el desprendimiento de los electrones de las capas atómicas externas. Estos electrones equilibran en el átomo neutral la carga positiva del núcleo. Al desprenderse ellos, el átomo se convierte en ion, se ioniza.

Creciendo más la temperatura, la proporción de iones y electrones aumenta cada vez más, mientras que la de átomos neutrales disminuye. A una temperatura de 20-30 mil grados, en el plasma casi no quedan ya átomos neutrales. Después de eso, la elevación sucesiva de la temperatura arranca a los átomos capas electrónicas cada vez más profundas y vinculadas estrechamente con el núcleo. Los átomos de elementos pesados, que incluyen decenas y hasta un centenar de electrones, se ionizan por completo al

ascender la temperatura a millones y decenas de millones de grados.

En el plasma transcurren reacciones termonucleares. Por ejemplo, en las estrellas, que son formaciones de plasma. Pero en las instalaciones de laboratorio e industriales, el plasma, por lo visto, debe meterse en un recipiente. Aquí, precisamente, surge la dificultad cardinal. En la Europa medieval se sostenía un debate escolástico sobre cierta sustancia que lo disuelve todo. ¿Dónde puede guardarse esta sustancia? Pues ella disolverá cualquier recipiente. Una cuestion un tanto análoga, aunque no escolástica ni mucho menos, surge al tratarse del plasma. Todo recipiente con plasma se evaporará y, más aún, se convertirá también en mezcla de átomos ionizados y de electrones. La vía de superación de esta dificultad consiste en lo siguiente. El plasma envuelto desde todos los lados por las líneas de fuerza del campo magnético, encontrándose en el vacío, no se extenderá, no se acercará a las paredes del recipiente, concentrándose en un espacio limitado, rodeado del vacío. Al pasar la corriente a través del plasma contenido en un tubo al vacío, el campo magnético de la corriente retiene el plasma sin permitirle que toque las paredes del tubo en que se forma un fino cordón de plasma. Se puede crear el termoaislamiento del plasma con ayuda de campos magnéticos externos, no relacionados con la corriente que atraviesa el plasma. La desgracia es que el cordón de plasma es inestable y se deforma en millonésimas de segundo, tocando las paredes del tubo. Resulta inestable también el coágulo de plasma en la trampa formada por campos magnéticos externos.

La tarea principal planteada en la vía hacia la energética termonuclear consiste precisamente en obligar al plasma concentrado y confinado por campos magnéticos a mantenerse en tal estado aunque sea durante fracciones de segundo. Por ahora no se ha conseguido más que retenerlo en una trampa magnética durante una centésima de segundo muy enrarecido con temperatura de decenas de millones de grados. Semejante resultado tiene una importancia de principio,

haciendo muy probable la realización del esquema de reacciones termonucleares en el curso de los próximos decenios. Si no se puede proyectar la transformación del balance energético o a base de la energética termonuclear para finales del siglo XX, se puede hacer semejante pronóstico para la primera mitad del siglo XXI. Este pronóstico no influye en la elección de las vías de la política técnica en nuestros días, pero sí influye en la elección de las vías del experimento científico. Conviene detenernos en ello.

En caso general, el investigador no conoce de antemano cuál será el resultado del experimento. De haberlo conocido con certidumbre (puede decirse: con una probabilidad igual a uno), no habría necesidad de realizar el experimento. En este sentido tuvo razón A. Baikov, al contestar lo siguiente a una pregunta sobre los resultados esperados del experimento: "En la ciencia tienen valor sólo los resultados inesperados". Por otra parte, si cierto resultado no puede obtenerse a ciencia cierta, o sea, su probabilidad es igual a cero, el experimento también pierde sentido: la probabilidad igual a cero es equivalente a la negativa incontestable.

La inversión de fuerzas y medios en el trabajo experimental se determina por la probabilidad de obtener cierto resultado y el efecto probable de este último. Mas no sólo por eso. Existe el "influjo de resonancia" independiente de cualquier resultado del experimento mismo. En dependencia de la originalidad de los métodos de indagación, de la "perfección interna" einsteiniana, de las concepciones de partida verificables en los experimentos y del carácter general del problema a resolver, el experimento puede ejercer una influencia más o menos esencial sobre los campos contiguos o más distantes de la investigación y la actividad práctica. Se puede ilustrar tal influencia tomando como ejemplo la energética clásica y su evolución en los próximos decenios.

No se debe pensar que la influencia de la energética atómica sobre la clásica se reduzca al desplazamiento de esta última. Además de tal desplazamiento (en parte, a despecho del desplazamiento) se opera un proceso distinto, más com-

plejo. El efecto de resonancia de la energética atómica conduce a una intensidad mayor de las tendencias propias, inmanentes, en otros campos. En el presente caso se trata de que la energética atómica aumenta las "oscilaciones propias", las tendencias propias de la energética clásica.

Probablemente, las búsquedas de nuevos ciclos clásicos, con coeficientes de rendimiento mucho más altos, se estimulan por la perspectiva de disminución del coste de un kilovatio-hora en las centrales atómicas. Pero no es esta la influencia principal de la energética atómica sobre el pensamiento tecnocientífico y económico en la energética clásica. La energética atómica, además de exigir de la energética clásica (bajo la amenaza del desplazamiento) la elevación del rendimiento, le proporciona ciertos esquemas físicos y técnicos, que se exponen en forma de pronósticos. Estos esquemas, sin haberse realizado a veces en la práctica, producen ya un efecto acelerador en la energética clásica. En efecto, una pauta de desarrollo muy importante para la energética clásica –obtención inmediata de energía de la corriente eléctrica a cuenta de la energía térmica del gas– utiliza el plasma que (cierto es que a otras temperaturas) es el campo de las reacciones termonucleares.

La transformación directa de la energía térmica del gas en energía de la corriente eléctrica se basa en el siguiente esquema.

La posición de partida es el gas calentado hasta una temperatura relativamente alta, ionizado y compuesto en cierta medida (posiblemente mayor) de átomos que han perdido los electrones periféricos y de estos últimos que han pasado a ser libres. En otros términos, es el plasma. Pero no un plasma de alta temperatura, semejante a la sustancia de los astros, sino un plasma de baja temperatura, que se mide no por millones, sino tan sólo por miles de grados. A tal temperatura, la ionización del gas y su electroconductibilidad no son altas. Por eso, en el gas se introducen vapores de algunos metales, cuyos átomos pierden fácilmente sus electrones periféricos. De este modo se obtiene un chorro

de plasma más ionizado y buen conductor de electricidad. Este chorro sale a través de una tobera al vacío. Luego el flujo atraviesa el campo magnético, los componentes del plasma cargados positiva y negativamente se desvían hacia los lados opuestos, surgiendo en el mismo la corriente eléctrica.

El gas ionizado sustituye en el generador corriente el arrollamiento del rotor en el cual, al girar el rotor, se induce la corriente eléctrica, que forma circuito a través de los electrodos conectados con la carga externa. Los electrodos corresponden a las escobillas que toman la corriente del enrollamiento del rotor en el generador corriente.

Tal instalación —el generador magnetohidrodinámico— puede funcionar merced a las fuentes clásicas de energía, pero puede también valerse de la energía del reactor atómico. La mezcla de gases (por ejemplo, el helio añadiéndole vapores fácilmente ionizables del cesio) sirve de agente refrigerante, que evacúa la energía térmica del reactor; y la transformación parcial de la misma en energía cinética del chorro caliente y, luego, en energía de la corriente eléctrica en el reactor magnetohidrodinámico convierte el reactor en central eléctrica atómica.

Semejante combinación del reactor con el generador magnetohidrodinámico exige que aquél funcione a altas temperaturas: el gas con una temperatura insuficientemente alta no garantizará el alto rendimiento del generador magnetohidrodinámico. Así pues, vemos no sólo la influencia de la energética atómica sobre la elección de vías en la energética clásica, sino también la influencia inversa. La energética atómica da a la energética clásica estímulos económicos. El pago por la entrada en el siglo atómico consiste en disminuir los gastos específicos por kilovatio-hora, pasado a ser normas los gastos específicos en las centrales atómicas. Además, la energética atómica transmite a la clásica algunos resultados esenciales de las investigaciones del plasma con la transición correspondiente del plasma de alta temperatura al de baja temperatura (por supuesto, esto no se refiere a los problemas fundamentales: en el caso del plasma de baja tempe-

ratura está ausente la faena de la trampa magnética y de la estabilidad del plasma comprimido).

A su vez, la energética clásica promete a las centrales atómicas un "componente clásico" más económico, es decir, el esquema de utilización del calor del reactor nuclear, la transformación de este calor en energía de la corriente eléctrica.

ELECTRONICA CUANTICA

Veamos las tendencias tecnocientíficas que obligan a desarrollar y precisar un tanto la formulada caracterización de la segunda mitad del siglo XX. La energética atómica tiene los nexos más estrechos con la teoría de la relatividad y, de por sí, puede dar motivo para llamar la nueva civilización, que crece a nuestros ojos, civilización relativista. Otra dirección fundamental del pensamiento científico contemporáneo – la física cuántica – también está ligada a la energética atómica. Los procesos conducentes a la fisión y fusión del núcleo atómico pueden ser comprendidos únicamente con ayuda de representaciones cuánticas. Son igualmente estrechos y, quizás, más evidentes los nexos que unen la física cuántica a las resonancias de la energética atómica. La electrónica cuántica es la pauta determinante de restructuración de la tecnología industrial y las comunicaciones en el pronóstico para el año 2000. Como queda dicho, esta fecha convencional significa la existencia de cierto conjunto de proyectos interrelacionados en el dominio de la ciencia, la economía y la cultura. Para la energética, semejante proyecto consiste en convertir las centrales atómicas en principal componente del balance energético. Para la tecnología industrial y las comunicaciones, el conjunto general sincronizado al año 2000 parte de la conversión de la electrónica en base fundamental de la transformación de estas ramas. Tal pronóstico no se apoya sólo en las téndencias de la física teórica, sino también en las posibilidades del experimento físico, que apuntan en las décadas del setenta y del ochenta.

Desde este lado, precisamente, abordamos la electrónica cuántica.

Después de que Maxwell había identificado la luz con las oscilaciones electromagnéticas, fueron descubiertas radiaciones distintas por su frecuencia. Las radiaciones con frecuencia menor se emplean para transmitir radioseñales. Es mucho mayor la frecuencia (y, respectivamente, menor la longitud de onda) de los rayos caloríficos, infrarrojos, y mayor aún la de los rayos visibles, la luz en una acepción más estrecha, que ocupa el diapasón entre la mayor frecuencia de los rayos violetas y la frecuencia de los rayos rojos, que es la menor en la parte visible del espectro. La radiación de una frecuencia mayor que la luz violeta no se percibe ya por la vista y se llama radiación ultravioleta. Son más cortas aún las ondas y mayor todavía la frecuencia de la radiación X. La radiación electromagnética de las frecuencias más altas son los rayos gamma que se emiten, en particular, por los núcleos de átomos durante algunas reacciones nucleares.

En 1900, Planck descubrió que la sustancia emite ondas electromagnéticas por porciones discretas mínimas. La energía de emisión no puede crecer a costa de cualesquiera incrementos mínimos, sino que siempre es múltiplo de las porciones mínimas llamadas cuantos. Pero Planck no consideraba en absoluto que el campo electromagnético se compone de partículas aisladas, sino que supuso sólo que este campo se emite en porciones mínimas indivisibles (cuantos), que las ondas electromagnéticas también son absorbidas en dichos cuantos. De ahí no se deduce aún que el campo elecromagnético mismo sea constituido por partículas indivisibles. Como escribiera Philipp Frank, citando a Einstein: "Si la cerveza siempre se vende en botellas de una pinta, esto no significa en absoluto que la cerveza esté constituida por porciones indivisibles"[4]. En 1905, el propio Einstein emitió una suposición muy paradójica sobre la discontinuidad del campo electromagnético mismo. En el fondo, esta suposición contiene ya

[4] Ph. Frank. *Einstein. His Lile and Times* . N. Y., 1947, p. 71.

la idea más paradójica de la física no clásica: la luz, que son ondas del medio continuo (esto se demuestra con la interferencia, la desaparición de la luz allí donde las crestas de ondas de un rayo coinciden con las depresiones de otro rayo y la amplificación de la luz allí donde las crestas de un rayo coinciden con las de otro), resulta, a la vez, una multitud de partículas discretas. Einstein las llamó cuantos de la luz, y más tarde, recibieron el nombre de fotones. Si se pasa del cuadro corpuscular de los fotones al cuadro continuo de las oscilaciones electromagnéticas, la energía del fotón corresponde a la frecuencia de las oscilaciones, es proporcional a ella.

Al poco tiempo, la teoría cuántica de la luz se cruzó en su desarrollo con la teoría del átomo. En 1915, Bohr creó el modelo del átomo, en el que en torno al núcleo giraban electrones que, al pasar de una órbita a otra, inducen al átomo a emitir ondas electromagnéticas de una u otra frecuencia o, en otros términos, fotones de una u otra energía.

A la órbita más próxima al núcleo corresponde la energía mínima, y a las órbitas más y más distantes, energías cada vez mayores. Cuando el átomo absorbe la luz (trátase no sólo de la luz visible, sino también de la radiación electromagnética de otros tipos), los electrones se desplazan a las órbitas con mayor energía, y la energía del átomo crece a cuenta de los fotones absorbidos. Cuando el átomo emite fotones, los electrones se desplazan a las órbitas con menor energía, disminuyéndose la energía del átomo. La energía de emisión, o en otros términos, su frecuencia permite juzgar de lo que se está operando en el átomo. Las frecuencias de emisión forman el espectro de la misma.

A principios de nuestro siglo había ya muchísimos datos acumulados sobre los espectros de radiación de los átomos de distintos elementos. En 1913, Bohr resumió todas estas observaciones en un cuadro único de radiación discreta de los átomos. La idea de los niveles discretos de energía y, respectivamente, de la jerarquía discreta de las órbitas, que no admiten más que saltos de una órbita a otra, podía formularse tan sólo merced a una intuición genial. Así apreció

Einstein en sus notas autobiográficas el modelo de Bohr. La cuantificación de órbitas, es decir, la localización de las órbitas discretas "permitidas" y de los niveles discretos de energía no podía deducirse de un principio más general. "Hasta el día de hoy me parece un milagro – dice Einstein – que este fundamento inseguro y contradictorio fue suficiente para permitir a un hombre como Bohr, con su singular intuición y don de acierto, que descubriese las leyes más importantes de las líneas espectrales y de las capas electrónicas de los átomos junto con su significación para la química. Es la forma más alta de musicalidad en la esfera del pensamiento"[5].

En la década del veinte, la discontinuidad de los niveles de energía del átomo y de las órbitas electrónicas recibió una fundamentación rigurosa. Si Einstein descubrió en 1905 las propiedades corpusculares del campo electromagnético, Louis de Broglie, en 1923-1924, llegó a la idea de que las partículas, ante todo los electrones, tienen propiedades ondulatorias. Al poco tiempo, en 1926, Schrödinger propuso una ecuación en que cierta magnitud – función de onda – cambia incesantemente, al pasar de un punto del espacio a otro y de un momento de tiempo a otro, lo mismo que cambian de punto a punto y de instante a instante el nivel del agua en un mar agitado, la densidad de aire al propagarse el sonido o la intensidad del campo electromagnético. Pero la ecuación de Schrödinger no determina la propagación de desplazamientos o deformaciones en algún medio, sino el movimiento del electrón u otra partícula de la sustancia. Si se considera el cuadro corpuscular, cuadro de partículas en movimiento, ¿qué es lo que significa una magnitud continua: la función de onda? Max Born contestó a este interrogante. Analiza dicha función como medida de probabilidad de encontrar un electrón en un punto dado y en un momento dado. Esta magnitud oscila. Con ayuda de la ecuación de Schrödinger obtenemos la amplitud de la variación para cada punto y cada momento. Esta amplitud permite juzgar de la

[5] Einstein. *Op. cit.*, p. 45-47.

probabilidad de estancia del electrón en el punto y en el momento para los cuales se calculó la amplitud.

Huelga decir que esto desencadenó la revolución más radical en el carácter del pensamiento físico. Para la ciencia clásica, la naturaleza se subordinaba a un sistema de regularidades precisas, que determinaban de modo univalente la posición de cada partícula en cualquier momento de tiempo. El ideal de la investigación científica consistía en reflejar con la máxima precisión posible tales localizaciones univalentes de partículas en el espacio-tiempo. La presunción de la ciencia clásica consiste en la posibilidad de acercarse al máximo a exactos valores objetivos de la posición de la partícula y de su impulso en todo momento. Resulta que en la naturaleza no hay localizaciones e impulsos tiempo-espaciales de partículas determinados de modo univalente. El ideal no es la determinación exacta de la localización misma de la partícula y de sus variables dinámicas en conjunto, sino tan sólo la determinación precisa de la probabilidad de estas variables dinámicas. La aspiración al ideal clásico conducía a la ciencia a nuevas representaciones, encarnándose en aplicaciones prácticas, que, a su vez, se convertían en fuerza motriz del progreso científico. Actualmente, la aspiración al ideal no clásico conduce a la ciencia a nuevas representaciones sobre el espacio, el tiempo, el movimiento, la sustancia, la evolución del Universo y la evolución de la vida. Estas representaciones se plasman en nuevos eslabones del progreso técnico, que pasan a ser impulsos iniciales del desarrollo sucesivo de la ciencia.

Pongamos por caso el siguiente ejemplo. En la física nuclear se estudia la situación en que la partícula, para que pueda acercarse al núcleo del átomo, debe superar una fuerte repulsión, vencer una barrera potencial mayor a su energía cinética. Esto es imposible, lo mismo que una bola deslizada de una loma no puede escalar la cima de una loma más alta y rodar sobre ella. Es imposible desde el punto de vista clásico. La física cuántica trata de las probabilidades, y la imposibilidad resulta una pequeña probabilidad de que la

partícula penetre en el núcleo atómico. Pero durante el bombardeo con gran número de partículas, estas penetraciones poco probables se producirán, provocando, además, reacciones en cadena que son de extraordinaria importancia para la nueva *técnica no clásica.*

Algo análogo se opera en otras esferas. Si no se pasa a las representaciones cuánticas, no clásicas, no se puede encontrar los procesos técnicamente aplicables (y, tanto más, los procesos que por principio, de modo indefinido por ahora, pueden resultar aplicables en el futuro).

En la década del cuarenta, la radiotecnia se acercó de lleno a problemas imposibles de resolver sin las representaciones cuánticas. En los radiorreceptores corrientes, la recepción de transmisiones se ve obstaculizada por el cambio de la frecuencia, el hecho de que una emisora "se sobrepone" a otra y, en general, por la circunstancia de que es muy amplia la "línea espectral", o sea, el intervalo de frecuencias, del receptor.

Las numerosas aplicaciones de la radiotecnia (comprendidas las más prometedoras, que determinan el futuro) exigen que el intervalo de frecuencias de las oscilaciones electromagnéticas durante la transimisión sea muy estrecho, que las emisoras, al trabajar al mismo tiempo, no se interfieran. En la espectroscopia existe una representación sobre la luz monocromática con una banda espectral muy estrecha. Los conceptos de la espectroscopia han penetrado en la radiofísica. Resulta que, al elaborar los nuevos métodos de obtención de oscilaciones muy monocromáticas y estables por su frecuencia, hay que usar conceptos de la física cuántica. La cosa es que los amplios intervalos de frecuencia se explican por el carácter macroscópico de las emisoras. Este carácter macroscópico de la radiotecnia relega a segundo plano el carácter discreto de la radiación, la existencia de distintos cuantos del campo electromagnético. En la década del cincuenta se comenzó a recibir señales muy débiles, que son ondas sumamente estables por su frecuencia y cuyas frecuencias son muy poco dispersas. Se aprendió a amplificar estas

señales. Pero la teoría de las mismas resultó en gran medida al margen de la física clásica. A su margen se encontraron los nuevos principios de la generación de *radiación coherente* de los sistemas cuánticos, que no sólo posee la misma frecuencia, sino también la misma fase en cada momento.

A mediados de la década del cincuenta se crearon aparatos basados en las transiciones inducidas de los sistemas atómicos de unos niveles energéticos a otros. Estos aparatos sirvieron de base para obtener la radiación monocromática y coherente. La teoría de estas transiciones, pronosticadas por Einstein, es la teoría cuántica que se deduce del modelo de Bohr. Se trata de la llamada radiación *inducida*. En 1916, Einstein publicó el artículo *Emisión y absorbción de la radiación según la teoría cuántica*[6], en el cual se describe el sistema cuántico, o sea, el sistema de partículas que emite y absorbe los cuantos de la radiación, modificando su propia estructura. A título de ejemplo concreto del sistema cuántico puede tomarse el átomo consistente del núcleo y los electrones, poseedor de dos niveles de energía. Se puede imaginar estos niveles como dos órbitas de electrones, una de las cuales está más cerca del núcleo (nivel inferior) y la otra, más lejos (nivel superior). Por supuesto, se podría tomar no un átomo, sino una molécula que, en dependencia de la configuración de los átomos, posee una energía mayor o menor. Mas por ahora vamos a estudiar, a título de ejemplo de la radiación, no la molécula, sino el átomo.

Las transiciones de los electrones de un nivel a otro pueden ser tanto espontáneas como provocadas por el efecto de la radiación, del flujo de los fotones. Existe una interacción doble entre el átomo y la radiación. En un caso, el fotón simplemente es absorbido por el átomo, y en el otro, el átomo emite un nuevo fotón. En 1927, Dirac advirtió que el nuevo fotón no se distingue del viejo, poseyendo la misma energía

---

[6] *Strahlungs-Emission und -Absorption nach der Quantentheorie. (Deutsche physikalische Gesellschalt.* Verhandlungen, 1916, vol. 18, pp. 318-323.

y la misma dirección. Si en el nivel superior se encuentra un gran número de electrones, todos ellos pasan sincronizadamente a un nivel más bajo. En este caso se emiten fotones de la misma energía y la misma dirección, pero su número será mayor que en la radiación incidente. Así pues, se crea la posibilidad de amplificar la radiación a cuenta de la radiación inducida de los sistemas cuánticos. Semejante posibilidad ha sido realizada en los lasers (según las letras iniciales de la denominación inglesa del efecto: *light amplification by stimulated emission of radiation,* amplificación de la luz por la emisión estimulada de radiación).

Los lasers son aparatos basados en el principio de la radiación inducida en la banda óptica. Esto los distingue de los masers, que utilizan tal radiación en la banda de radio y constituyen otra rama de la electrónica cuántica. La aplicación de la radiación inducida en la banda óptica está más próxima y relacionada más evidentemente a la física no clásica, a las representaciones cuánticas, que en la banda de radio.

¿Cuáles son las particularidades de este haz luminoso, amplificado por la radiación estimulada, inducida, que permiten valorarlo como precursor de una época nueva del progreso científico y técnico?

Es, ante todo, la banda estrecha de frecuencia, la alta monocromaticidad de la radiación. Es, además, la *coherencia,* el hecho de que la radiación estimulada, inducida, de distintos átomos se opera de modo coordinado, en una fase. El laser permite obtener una *potente* radiación monocromática. Una propiedad del haz de laser es su exactitud de dirección, el hecho de que él no se amplía o, más exactamente, se amplía muy poco. El laser puede emitir un haz luminoso de gran potencia y de un enfoque muy exacto de emisión.

En este libro se explica consecuentemente y desde distintos aspectos la concepción de las condiciones iniciales y noozonas. La tendencia general de la ciencia no clásica y sus aplicaciones consiste en rebasar el marco de la jerarquía clásica de las partes discretas de la sustancia. Esta jerarquía

clásica terminaba, por un lado, en los átomos, cuyo reagrupamiento crea los diversos compuestos químicos y, por el otro, en la mecánica de los cuerpos celestes. La noozona de esta jerarquía eran los reagrupamientos de átomos en las moléculas en escala macroscópica, es decir, los procesos químicos y los movimientos de los cuerpos macroscópicos en la capa estrecha de la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera. En esta capa se creó lo que V. Vernadski llamara noosfera, o sea, el conjunto de estructuras macroscópicas integradas, que abarcaba un intervalo muy pequeño de los procesos atómicos, moleculares y macroscópicos. Este intervalo era limitado por pequeñas concentraciones de energía.

Además de la noozona de jerarquía de las partes discretas de la sustancia existía la noozona de los procesos continuos. Es un conjunto de procesos hidrodinámicos, flujos caloríficos y otros desplazamientos de energía (corriente eléctrica) racionalmente integrados, comprendidos las radioseñales y los fenómenos acústicos y ópticos. Aquí, las representaciones atomísticas y las comprobaciones de la existencia de los átomos y moléculas no eran esenciales para la composición racional de los procesos macroscópicos. Las representaciones atomísticas no figuraban como representaciones especiales, determinantes de la elección de unas u otras condiciones iniciales. A su vez, las representaciones concretas, determinantes de las noozonas de la jerarquía discreta, no comprendían concepciones continuas. La composición racional de los cuerpos discretos podía dejar de lado al cuadro continuo del mundo, y la de los procesos continuos, al cuadro atomístico.

La jerarquía clásica de las partes *discretas* de la sustancia termina en el mundo atómico, donde los elementos discretos del átomo poseen evidentes y esenciales propiedades ondulatorias, continuas. La jerarquía clásica de los procesos *continuos* termina allí donde las radiaciones poseen propiedades corpusculares evidentes y esenciales. Las zonas no clásicas se encuentran en los poros ultramicroscópicos de la jerarquía clásica y, a la vez, la abarcan: al tratarse del

surgimiento y la desaparición de astros y galaxias, la ciencia no puede prescindir de las representaciones no clásicas.

La revolución tecnocientífica del siglo XX consiste en la salida de las noozonas del marco de la jerarquía clásica. Las noozonas del mundo discreto y las del mundo continuo han perdido su independencia. El dualismo corpuscular-ondulatorio pasó a ser un principio no sólo físico, sino también físico-técnico. El modelo no clásico, donde las características corpusculares y ondulatorias son mutuamente inseparables, no es ya sólo una comprobación de lo que se está operando en el mundo, sino también un modelo que tiende a una finalidad concreta y determina los efectos activos de la razón sobre el curso de los procesos objetivos. La historia y la prehistoria concretas de la energética atómica y de la electrónica cuántica demuestran que ninguno de estos canales principales de la revolución tecnocientífica contemporánea podía aparecer sin que se creasen de antemano los modelos esencialmente no clásicos: en un caso, del modelo de fisión o de fusión nucleares y, en otro, del modelo de transiciones de los sistemas cuánticos a niveles más altos y de radiación inducida de fotones que poseyesen la misma energía. Cuando una finalidad, o sea, lo que diferencia el trabajo de los procesos espontáneos, no puede formularse más que como modelo esencialmente no clásico, este último adquiere no sólo ser físico, sino también físico-técnico, caracteriza no sólo lo que es, sino también lo que debe ser e irrumpe en el dominio donde son aplicables los conceptos de "mejor" y "peor", los conceptos de lo óptimo y de optimismo.

La fisión del átomo, el conjunto de procesos que explican este efecto es la zona no clásica, que continúa la jerarquía discreta, zona donde las representaciones discretas no pueden existir ya sin una síntesis con las representaciones ondulatorias. La radiación inducida es una zona no clásica de la jerarquía de las representaciones continuas, donde el cuadro ondulatorio es imposible sin el aspecto discreto, corpuscular.

Señalemos también que en la electrónica cuántica – noozona del espectro electromagnético – vemos el nexo entre la amplitud, la comunidad y el carácter no clásico de los nuevos esquemas físicos ideales, por una parte, y la aceleración del progreso tecnocientífico, por la otra.

Veamos ahora qué significan las particularidades enumeradas del haz laser (dejando de lado otras particularidades, que son, quizás, no menos esenciales) para el empleo de los lasers. Intentemos delimitar el efecto de este empleo, primero, en la *aceleración* del progreso técnico y, segundo, en el *incremento de esta aceleración* indeterminado y carente de expresión cuantitativa.

El laser puede cambiar de raíz el sistema de comunicación y transmisión de informaciones. Hace mucho ya que la radiocomunicación pasa de las ondas largas a ondas cada vez más cortas. Esto permite, por ejemplo, transmitir por una sola línea gran número de conversaciones telefónicas, noticias de radio, programas televisados, etc. El volumen de información transmitida crece con gran rapidez al pasar de la gama de ondas centimétricas a ondas mucho más cortas de banda óptica.

Además, los lasers pueden aumentar considerablemente el efecto de las calculadoras y computadoras de mando. En este caso también se trata, en el fondo, de información. La velocidad con que el laser puede transmitir la información de un elemento de la calculadora a otro aumentará la eficacia y la rapidez de acción de las calculadoras complejas.

Una de las tendencias más importantes del progreso técnico en el último cuarto de nuestro siglo será la extensión de los lasers al dominio de la tecnología industrial. Por lo visto, los métodos mecánicos de tratamiento de metales y otros materiales cederán la primacía a los haces laser. Un haz laser fino, monocromático y, a la vez, potente permite reducir las dimensiones de las piezas y la precisión de estas dimensiones a unos cuantos micrones. Además, la electrónica cuántica ofrece la posibilidad de reagrupar muy radicalmente las moléculas en retículos cristalinos y los átomos

en moléculas. Este reagrupamiento puede proporcionar piezas y superficies supersólidas. Por eso, el perfeccionamiento de los lasers es una fuente de amplia reforma que se extiende a todos los sectores tecnológicos principales. La electrónica cuántica sólo se encuentra en los umbrales de la plasmasión ingenieril del esquema físico ideal dimanante de la idea expuesta en 1916 por Einstein, que adquirió formas concretas a mediados del siglo. Podemos imaginarnos que en el último cuarto del siglo aparecerán los lasers que transformen la energía de las más distintas fuentes dispersas en energía concentrada en forma de flujos dirigidos de cualquier potencia de ondas electromagnéticas coherentes. Se ampliará la gama de radiación laser, y se construirán los lasers para trabajar en nuevos gamas. Puede ser que los haces laser, al lograr una gran potencia, sustituyan los cables metálicos de transmisión de energía eléctrica.

Es hora de señalar la esencial retroacción del progreso científico y el progreso técnico que aquél induce. En la electrónica cuántica vemos un influjo muy potente y prometedor de realización técnica de las ideas físicas sobre el desarrollo de esas mismas ideas. Los lasers pueden ser un medio eficaz de experimento para elaborar los problemas básicos. El hecho de que en la electrónica cuántica las instalaciones experimentales están separadas de las prácticamente aplicables por un intervalo muy pequeño aumenta la suma de esfuerzos intelectuales y materiales que aplica la humanidad en este dominio. Esto acerca, en resumidas cuentas, la solución de problemas básicos. En uno de los capítulos de este libro, al analizar los problemas mencionados, veremos que su solución está ligada con un registro cada vez más exacto de intervalos espaciales y temporales en los campos tiempo-espaciales ultramicroscópicos y cósmicos. La radiación laser permite medir el tiempo y el espacio con una gran precisión. No está exluido que estas mediciones permitan arrojar luz sobre la estructura del Universo y los procesos que transcurren en las células tiempo-espaciales ultramicroscópicas (quizás, mínimas e incluso indivisibles).

La electrónica cuántica es parte de una dirección más general del progreso científico contemporáneo. La ciencia moderna estudia más y más a fondo los flujos de partículas de distinta especie, considerándolas como cuantos de campos diferentes por su naturaleza. En 1905 se puso ya de manifiesto que los campos electromagnéticos son flujos de fotones. Como queda dicho, pasados veinte años, Louis de Broglie descubrió que los electrones, que son partículas discretas, poseen propiedades ondulatorias y que algunas de sus particularidades de conducta pueden ser reveladas, al analizar los electrones como fuente de oscilaciones de un campo distinto, no electromagnético. Estas ondas de Louis de Broglie se interfieren, lo mismo que las demás ondas: allí donde en la pantalla resultan las crestas de dos ondas, crece la intensidad de la luz, mientras que allí donde la cresta de una onda coincide con la depresión de otra onda, la luz desaparece, formando tales puntos en la pantalla una oscura franja de interferencia. La difracción de las ondas consiste en el cambio de su frente cuando las ondas bañan los bordes de un cuerpo colocado ante ellas, o en el cambio de la dirección inicial, al atravesar un orificio estrecho. La doble naturaleza corpuscular-ondulatoria del electrón se utilizó al crearse el microscopio electrónico, que permite ver los detalles de la estructura y conducta de la sustancia inaccesibles para el microscopio óptico.

Más tarde se descubrió un gran número de partículas elementales de distintas especies (además de las que conocemos ya por este libro) y, respectivamente, un gran número de campos ondulatorios originados por estas partículas. La técnica moderna utiliza los flujos de estas partículas en la tecnología y la medicina; en el experimento ellos se emplean para estudiar núcleos atómicos, átomos, moléculas y células; la astronomía y la astrofísica investigan estas radiaciones para determinar la estructura y seguir la evolución de las estrellas, las galaxias y la Metagalaxia.

Podemos considerar que el estudio y la aplicación cada vez más intensos de potentes radiaciones de distinta natura-

leza es, a la par con la utilización de las reacciones nucleares en cadena, la dirección fundamental del progreso tecnocientífico en el siglo atómico.

BIOLOGIA MOLECULAR

En las décadas del cincuenta y del sesenta, casi paralelamente a varios descubrimientos que dieron origen a la electrónica cuántica, se produjo una revolución muy radical en biología. Esta revolución poseía una particularidad típica de la segunda mitad de nuestro siglo. En la ciencia clásica, una serie de descubrimientos fundamentales inauguraba, por lo común, un período relativamente tranquilo de estudio de problemas particulares, nuevos conceptos y métodos experimentales a base de la nueva concepción. En nuestros tiempos, en aquellos campos de la ciencia donde a mediados del siglo se modificaron las representaciones fundamentales, estos cambios originan un número de nuevas cuestiones mucho mayor que el de las cuestiones contestadas. En el siglo XIX existía la esperanza de penetrar cada vez más a fondo en la naturaleza de las cosas para alcanzar la capa más profunda, primogenia. Esta esperanza existía, aunque nunca fue general. En la segunda mitad del siglo XX, por lo visto, la ciencia debe abandonar incluso la esperanza de una larga interrupción del proceso de profundización de los conocimientos.

Esto es precisamente lo que imprime a la ciencia moderna su específico estilo de pronóstico. Anteriormente, la caracterización del viraje en la ciencia encuadraba en la proposición tipo de "ahora conocemos ya..." Conservándose este componente de la caracterización, el acento se ha trasladado hoy día a la proposición tipo de "ahora vemos lo que hemos de conocer aún". Este traslado del acento es típico también de la biología, con la particularidad de que bajo el epígrafo del pronóstico de "lo que hemos de conocer" se encuentra el interrogante más general y cardinal de "¿qué es la vida?" Este interrogante se forma de miles de distintas cuestiones concretas sobre la estructura y la conducta de los diversos organis-

mos, tejidos, células y moléculas, pero todas estas cuestiones están vinculadas *evidentemente* con el problema cardinal de la esencia de la vida. Con este problema se ligan las cuestiones aplicadas. Continuación y concretación de la fórmula de "lo que hemos de conocer" son los interrogantes: "¿Cómo eliminar el cáncer?", "¿Cómo se puede aumentar esencialmente, por decenios, la duración media de vida de los hombres?", "¿Cómo dirigir la herencia biológica?"

Para abordar estos problemas (puede decirse también "estos pronósticos") conviene explicar, lo mismo que en los capítulos anteriores, algunos conceptos especiales. Pero sin entrar en detalles, del modo más breve y general. Este libro no pretende resumir el estado actual de la física, la química y la biología; su tarea consiste en tratar de responder a la siguiente pregunta: ¿cómo cambian las representaciones fundamentales sobre la naturaleza y qué es lo que puede dar su cambio a la humanidad? Y puesto que este problema interesa a todos, hay que tratarlo en la forma más asequible, lo cual requiere, otra vez, que en la exposición figure un mínimo de conceptos y términos especiales.

La íntima ligazón de las especulaciones teóricas especiales (comprendidas las especulaciones matemáticas y físicas) y de los datos experimentales con el problema fundamental de la esencia de la vida aproxima la biología al pensamiento de la filosofía de la naturaleza. Pero únicamente en lo referente a la amplitud de los problemas planteados, y no en cuanto al carácter de la investigación, ni mucho menos. La biología contemporánea vincula las concepciones particulares con el problema general y con los postulados generales, alcanzando de este modo la "perfección interna" de sus concepciones. Pero estos postulados generales pueden comprobarse inmediata o mediatamente por vía experimental y poseen el criterio de "justificación externa". Esto se refiere ante todo, al interrogante: ¿qué eslabón en la jerarquía de las partes discretas de la materia tiene la particularidad específica de reproducir la sustancia viva de la misma estructura? Este eslabón son moléculas muy grandes, compuestos de muchos millares de átomos.

Se las llama polímeros biológicos o macromoléculas. Por su composición son proteínas (combinaciones de aminoácidos) y ácidos nucleicos. Existen argumentos de mucho peso para atribuir a estas moléculas grandes la función de autorreproducción. La doctrina contemporánea de la herencia atribuye esta función a los cromosomas, formaciones que se encuentran en los núcleos de las células. La estructura de los cromosomas contiene el "código genético", o sea, determina la estructura y el destino de las células que surgen de la célula dada y, si esta última es embrionaria, sus cromosomas determinan la evolución del organismo. Esta evolución no se reduce al crecimiento del organismo, como es el caso, por ejemplo, de los cristales. La representación sobre la macromolécula, en la cual sirve de código genético el agrupamiento de átomos y radicales, surge de consideraciones muy generales sobre el código predeterminante de la conducta de millares de millones de células, cuyos destinos forman la evolución del organismo, surge de consideraciones sobre el número de elementos de la estructura que tiene codificadas la ontogenia y la herencia, surge de consideraciones sobre la estabilidad de esta estructura, y de algunos principios de la mecánica cuántica y analogías con la misma.

Veamos la exposición, hecha a mediados de la década del cuarenta por Schrödinger, de las representaciones sobre la macromolécula como portadora del código genético[7].

Schrödinger aproxima la molécula a un elemento de estado sólido: el cristal. Las moléculas en un cristal y los átomos de una molécula están enlazados por fuerzas de la misma naturaleza. Schrödinger subraya el carácter cuántico de estas ligazones: no se puede imaginarlas partiendo de la continuidad de la energía y de la transición ininterrumpida de una configuración de partículas a otra configuración poseedora de energía que se diferencia tanto como se quiera de la inicial. Luego el autor habla de la estructura molecular del

[7] E. Schrödinger. *What is Life? The Phisical Aspect of the Living Cell.* Cambridge, 1944, p. 61.

cristal. Esta estructura puede repetirse con una participación cada vez mayor de partículas y creciendo en tres direcciones. La fibra cromosómica (que encierra la información sobre los caracteres hereditarios) es resultado de un camino distinto. La molécula puede transformarse en sólido aperiódico, en cristal aperiódico.

"La otra vía –dice Schrödinger– es la construcción de un agregado cada vez más extenso sin el aburrido aparato de repetición. Es el caso de la molécula orgánica más y más complicada, en la cual cada átomo y cada grupo de átomos desempeñan un papel individual, no enteramente equivalente al de otros muchos átomos y grupos... Podemos llamar con toda exactitud a esta formación cristal aperiódico o sólido y expresar nuestra hipótesis diciendo:... la fibra cromosómica entera es un sólido aperiódico."[8]

Schrödinger explica por qué una partícula muy pequeña puede dar cabida a la información codificada que determina el desarrollo del organismo. La causa de ello consiste en un gran número de combinaciones, con un número relativamente pequeño de átomos de la molécula. Por eso precisamente la molécula (cristal aperiódico en que son posibles los agrupamientos más distintos de átomos) puede determinar de modo univalente la variante del desarrollo del órganismo, eligiéndola de un colosal número de variantes posibles. "Una asociación de átomos bien ordenada, dotada de suficiente estabilidad para conservar permanentemente su orden, parece ser la única estructura material concebible, en la cual la variedad de las combinaciones posibles ("isoméricas") es lo suficientemente grande para englobar un complicado sistema de "determinaciones" en los límites de un espacio mínimo."[9]

Schrödinger cita a título de ejemplo el alfabeto Morse. Los puntos y rayas, nada más que dos signos, ofrecen, en grupos de dos, tres y cuatro signos, treinta combinaciones, treinta letras. Ahora bien, tres signos distintos, en grupos de diez

[8] Ibíd., p. 61.
[9] Ibídem.

signos, habrían dado 30.000 combinaciones, ascendiendo el número de combinaciones de cinco signos distintos en grupos de veinte signos a 372.529.029.846.191.405.

Schrödinger subraya enérgicamente que la molécula que tiene impreso el código de la herencia se distingue del conjunto estadístico de la física. Las moléculas cromosómicas "representan el grado supremo de asociaciones atómicas bien ordenadas que conocemos –más alto que el de los cristales periódicos ordinarios– en virtud del papel individual que cada átomo y cada radical desempeñan aquí"[10].

Esto es muy distante de la física estadística, donde *"el papel individual de cada átomo"* es despreciable, y el ordenamiento puede ser alcanzado al entrar en juego un colosal número de individuos. Conviene señalar (de eso se tratará en los últimos capítulos del presente libro) que "el papel individual de cada átomo" se excluye no sólo por la física estadística. Toda concepción clásicamente estadística niega el papel de cada individuo, y para generalizar la caracterización dada por Schrödinger es suficiente entrecomillar la palabra *átomo.*

Sin embargo, Schrödinger no considera que el principio del "papel individual de cada átomo" no es físico. "...El nuevo principio es genuinamente físico; a mi juicio, no es más que –otra vez- el principio de la teoría cuántica."[11]

Las citadas consideraciones parten de postulados muy generales, pero admiten en principio la posibilidad de comprobación experimental, que se realizó en las décadas del cincuenta y el sesenta con ayuda del microscopio electrónico y los átomos marcados. Del microscopio electrónico se ha hablado ya, pero recordemos, en cuanto a los átomos marcados, que las reacciones nucleares (comprendida la fisión de núcleos) conducen a la aparición de núcleos radiactivos. Es fácil descubrirlos por las radiaciones e identificarlos con los átomos colocados en unos u otros tejidos del organismo. Los

[10] Ibid,. p. 77.
[11] Ibid., p. 81.

átomos marcados permiten seguir la migración de las distintas sustancias en el organismo y valerse de estas observaciones para determinar los procesos fisiológicos y patológicos, comprendidos los microprocesos en las células.

En la década del cuarenta y, todavía más, en las del cincuenta y el sesenta, la respuesta a la pregunta de qué es la vida adquirió una forma muy concreta en el sentido de que se indican no sólo las funciones, sino también las estructuras de las cuales son típicas estas funciones. Hemos hablado ya de tales estructuras. Ahora detengámonos en ellas un tanto más sistemáticamente, si es que este término vale para informaciones muy someras y fragmentarias.

La sustancia viva se compone de células, pelotitas de protoplasma, envueltas en una capa membránica, con un núcleo y algunos otros elementos. Es una estructura bastante compleja, que intercambia energía y sustancia con el medio ambiente, se divide en partes (células filiales de la misma estructura), se disocia, formándose de la célula embrionaria diversas células del organismo multicelular, se traslada y modifica su estructura y conducta al cambiarse el medio ambiente. En esta estructura se sintetizan las moléculas de proteína. La célula se compone principalmente de macromoléculas de proteína y ácidos nucleicos. Contiene varias decenas de millones de tales moléculas. El microscopio electrónico permitió estudiar bastante detalladamente la estructura de las células y hasta ver algunas moléculas más grandes.

Como queda dicho, el enigma genético –repetición de la estructura y la conducta del organismo– puede ser aclarado y se ha aclarado ya en parte, con el estudio de los núcleos celulares. Su estructura –existencia en la célula de formaciones supramoleculares, la estructura de estas formaciones y la de las moléculas mismas– es el punto de partida de la teoría moderna de la herencia. El núcleo contiene un número de cromosomas constante para cada especie. Los cromosomas se componen principalmente de ácido nucleico, llamado ácido desoxiribonucleico. Su denominación abreviada –ADN– no es menos ampliamente conocida que las denominaciones y

símbolos de los elementos del sistema periódico o de las partículas elementales que se mencionan con mayor frecuencia. Y esto corresponde a la importancia fundamental del ADN y los cromosomas constituidos de este ácido en el gobierno del trabajo de la célula y la transmisión de los caracteres hereditarios de los organismos.

Los cromosomas, precisamente, contienen la información genética que se transmite a otros elementos de la célula, en los cuales se sintetiza la proteína.

Esta síntesis se opera en las formaciones extranucleares, que se encuentran en el protoplasma que envuelve el núcleo, y contienen, entre otros elementos, los ribosomas: partículas de dimensiones moleculares, compuestas de moléculas de otro ácido nucleico, ácido ribonucleico (su denominación abreviada –ARN– es también bien notoria). Los ribosomas pueden verse en el microscopio electrónico.

Los procesos misteriosos de transmisión de la información genética condificada en el ADN conducen a que, al dividirse la célula, se formen células filiales de la misma estructura y –lo que es particularmente importante– con los mismos cromosomas. Antes de dividirse la célula, cada cromosoma se duplica. Esta duplicación ha sido estudiada bastante detalladamente con ayuda del microscopio electrónico y, más detalladamente aún, con ayuda de los átomos marcados. El cromosoma se compone principalmente de moléculas del ADN, y su duplicación se determina por la duplicación de estas moléculas. La formación de nuevas moléculas del ADN (en otros términos, la síntesis del ADN) tiene carácter *matricial*. Por este término se entiende lo siguiente. La síntesis biológica se caracteriza por procesos en que la composición de la sustancia sintetizada se determina por un sistema extraño, introducido desde fuera. Este sistema es análogo a un molde preparado en el cual se coloca o en el cual se solidifica el material de partida. En el caso de la síntesis del ADN, esta matriz es la molécula misma del ADN que al parecer selecciona del medio ambiente los átomos necesarios y los coloca de modo necesario para obtener otra molécula.

La duplicación de las moléculas del ADN explica la conservación del código genético, de la información sobre la estructura y la conducta de los organismos, con unas u otras variaciones que se repiten de generación en generación. Pero ¿cómo funciona esta información? ¿Cómo obliga a colocarse en determinadas combinaciones la proteína que constituye, con los ácidos nucleicos, la parte fundamental de la sustancia viva? La proteína está constituida por aminoácidos. Sus moléculas, distribuidas en el espacio, crean todo un sistema autocoordinado de células, tejidos y órganos.

La multiplicación y la diferenciación de las células, el crecimiento y desarrollo de los tejidos y órganos se determinan por la continuidad en el tiempo de los procesos de síntesis y disociación de los aminoácidos, por su interacción con el medio ambiente y la conducta de las moléculas de proteína.

La estructura de las células, tejidos, órganos y los propios organismos, lo mismo que su conducta, se determinan por la información hereditaria, genética. ¿Cómo determina esta información codificada en el ADN la estructura y la conducta de las proteínas?

Aquí pasamos a lo que se llama problema de la *transcripción*. Este término, que, por lo común, significa la presentación de una palabra con letras de otra lengua, es completamente admisible, puesto que en la genética se usan ampliamente los conceptos de *código* y otros conceptos tomados de la teoría de la información. El sentido específicamente bioquímico de la transcripción consiste en la síntesis de los mencionados ARN, o sea, de los ácidos ribonucleicos. La cosa es que los ADN no pueden servir directamente de matrices para la síntesis de aminoácidos, de los que se forman las proteínas. Aquí tienen lugar procesos intermedios. La molécula del ADN sirve de matriz para la formación de la molécula del ARN. Esto es, precisamente, la transcripción, traducción del código genético a otra lengua. A la estructura de la molécula del ADN, que tiene codificadas la estructura y la conducta de los organismos, corresponde la molécula del ARN, formada sobre

aquella molécula, como sobre una matriz. Este ARN se llama ARN matricial. Su síntesis se produce en los cromosomas.

El ARN matricial no puede transmitir aún la información genética a la proteína. La transmite a otro ARN, que se llama ARN de transporte, y este último determina ya la síntesis de los aminoácidos: procesos que se operan en la célula, fuera de su núcleo.

Ahora podemos volver al problema de la macromolécula como única estructura capaz de guardar el código genético, que garantiza, con unas u otras desviaciones, la autorreproducción de los organismos. Podemos agregar muchas cosas a los argumentos de Schrödinger. Citemos las consideraciones expuestas por M. Volkenshtéin sobre el organismo compuesto de pequeñas moléculas que contienen unos cuantos átomos[12]. Este organismo no puede ser un cuerpo líquido o gaseoso. Los movimientos desordenados de las moléculas del líquido o, con mayor razón, del gas no pueden garantizar la conservación de la información genética. Otra cosa es un cuerpo cristalino, con una conducta ordenada de las moléculas. Los cambios de retículos cristalinos bajo el efecto del medio exterior pueden ser bastante inequívocos. Son completamente imaginables las rápidas reacciones del "organismo" cristalino a las influencias externas, que cambien, por ejemplo, las propiedades conductoras y semiconductoras de los cristales. Estas reacciones podrían ser reflejos condicionados. Además, un sistema ordenado de bajo peso molecular compuesto de muchos retículos cristalinos podría modificar su estructura de modo que en él se imprima el código genético y que pueda reproducirse y, más aún, evolucionar, reproduciendo organismos cristalinos más perfectos. Se trata, por lo visto, del robot cibernético metálico o compuesto de otros materiales de bajo peso molecular. Pero el organismo cristalino no puede surgir espontáneamente. Así surgen las macromoléculas. En los procesos de polimerización, las pequeñas

[12] Véase M. Volkenshtéin. *Moléculas y vida*, ed. en ruso, Moscú, 1965, págs. 470-471.

moléculas se convierten en moléculas grandes, que son las únicas que pueden formar los sistemas supramoleculares vivos. Ahora su evolución ha llegado al momento crítico en que no son ya fuerzas espontáneas, sino una composición consciente de los objetos más distintos, comprendidos los cristalinos no macromoleculares, la que puede crear sistemas cibernéticos que se autorreproduzcan y autoperfeccionen.

En este breve ensayo sobre la célula y el núcleo, así como sobre los aminoácidos, ácidos nucleicos y su síntesis, figuran no pocas simplificaciones e inexactitudes. Existen virus que pretenden ser sustancia viva, pero no están formados en células. Existen células bacteriales, pero no tienen núcleos. Se podría hacer muchísimas reservas semejantes. Pero ellas no cambiarán las conclusiones que vamos a hacer.

Estas conclusiones se refieren a la correlación entre la biología molecular moderna, que ha encontrado en las macromoléculas las principales funciones vitales de autorreproducción y autorregulación, y la física no clásica. Pero ¿existen conexiones lógicas inmediatas entre el cuadro de interacciones de las macromoléculas, su síntesis y la recodificación de la información genética, por una parte, y los principios de la mecánica cuántica, por la otra?

Las macromoléculas, lo mismo que las pequeñas moléculas, deben su *existencia* a microprocesos y microinteracciones de naturaleza cuántica. No se puede contestar a la pregunta de qué es lo que asocia los átomos y radicales en moléculas, sin hacer referencia a los niveles de energía y las órbitas de electrones, a sus posiciones y desplazamientos, a las propiedades ondulatorias de las micropartículas, al modelo del átomo y, en general, a los conceptos cuánticos. Pero esto no convierte aún la biología molecular en teoría cuántica. El hecho de que la sustancia se compone de partículas elementales, átomos y moléculas, o sea, de sistemas cuánticos, no imprime todavía carácter cuántico a los procesos macroscópicos, al explicar los cuales se puede prescindir de las propiedades ondulatorias de las partículas y las propiedades corpusculares de las radiaciones. Para explicar por qué se des-

plaza la arena de la cima de una duna y por qué se mueve la duna no hay necesidad de remitirse a la estructura atomística de las arenitas. Mas, si se exige señalar la causa de la forma de las arenitas cristalinas, hay que traer a colación la estructura de las moléculas, el arreglo de los átomos y las propiedades de los sistemas cuánticos.

Se puede describir una parte considerable, e incluso predominante, de los procesos biológicos y bioquímicos sin tomar en consideración la conducta de diversos electrones, relacionada con sus propiedades ondulatorias, ni las particularidades de las radiaciones, vinculadas con su naturaleza corpuscular. En particular, los procesos de duplicación de cromosomas, de síntesis del ARN y de síntesis de moléculas proteicas a partir de matrices del ARN no son procesos cuánticos[13].

Sin embargo, existen procesos biológicos que sin las representaciones cuánticas son inexplicables (y, respectivamente, irreproducibles en el experimento). Estos procesos revisten particular interés para pronosticar y determinar las noozonas en la biología molecular, en el mecanismo de la herencia.

Tales son, en particular, las alteraciones del código genético en los cromosomas, producidas por los cuantos de la radiación de ondas cortas.

Veamos los principales mecanismos de la alteración del cromosoma bajo la influencia de la radiación.

En primer lugar, el cuanto de energía puede absorberse por el átomo o grupo de átomos dentro de la molécula del ADN. En este caso, el reagrupamiento de átomos y sus conexiones, o sea, una serie de reacciones radioquímicas, provocada por la radiación, conducirá al rompimiento de la cadena de radicales o al persistente cambio local de estructura de la molécula del ADN. Este cambio estructural es un cambio del código genético y conduce a nuevos caracteres hereditarios. En otras palabras, a consecuencia de la absorbción del cuanto

[13] Véase *Longuet-Higgins*. En la recopilación *Problemas de biofísica*, ed. en ruso, Moscú, 1964; M. Volkenshtéin. *Moléculas y vida*, ed. en ruso, págs. 472-474.

de energía surge la mutación: surgimiento súbito de una forma nueva, que se conserva en la descendencia.

En el segundo caso, la energía absorbida no produce cambios allí donde ha sido absorbida, pero avanza por la molécula del ADN, afectando alguna de sus partes, provocando una serie de reacciones radioquímicas y, como resultado, la restructuración cromosómica y la mutación.

En el tercer caso, el efecto de absorbción del cuanto será indirecto. Este cuanto no influye directamente sobre el cromosoma, sino sobre las moléculas del medio ambiente. Como resultado, en este ambiente aparecen nuevos agentes químicamente activos, que actúan sobre los cromosomas como mutagenes, o sea, provocan la restructuración del código genético y la mutación.

En su inmensa mayoría, las mutaciones provocadas por la radiación son nocivas. Los nuevos caracteres heredados obstaculizan la actividad vital y la multiplicación de los organismos. La radiación desordenada, "entrópica", el *fondo* de radiación es una de las líneas grabadas en el lado amenazador de la inscripción que simboliza el futuro de la civilización. En el otro lado de esta inscripción, en el programa de seguridad, prosperidad y progreso se proyecta la disminución de la radiación. El pronóstico para el año 2000 parte de una disminución sucesiva del fondo de radiación como resultado del cese de las pruebas nucleares, el riguroso control del uso de la energía atómica, que excluya el aumento de la radiación, y las medidas especiales, bastante eficientes, encaminadas a su disminución.

¿Pero, tal vez, la genética de radiación pueda formar parte de los métodos constructivos, utilizando radiaciones ordenadas y controladas? Esta ya forma parte de ellos. Mencionemos la selección por radiación, la aplicación de isótopos radiactivos y otras fuentes de radiaciones ionizadoras para aumentar el número de diversas mutaciones y seleccionar las mutaciones que aumentan la actividad vital, la velocidad de multiplicación y el valor económico de los organismos animales y vegetales.

A nivel de células, la aplicación de la radiación comprende la radioterapéutica. Nos referiremos aquí a la radioterapéutica del cáncer.

El empleo de distintas radiaciones para curar el cáncer ha llegado a ser un método científico, y no puramente empírico, únicamente a base de la biología molecular. El objeto inmediato de la radioterapéutica es la conducta de las células. Pero esta conducta está programada en las moléculas del ADN. Actualmente existen la concepción de mutación del origen del cáncer y la otra concepción, que carga a los virus la responsabilidad por los tumores malignos. La primera concepción parte de las modificaciones en el código genético. La segunda, considera que el proceso de partida es la penetración del virus en el organismo. Pero es posible que el virus influya en los cromosomas, alterando su estructura, y la información genética modificada predetermine la capacidad de crecimiento maligno de las células. En todo caso, sin tener una idea de los cromosomas y el código genético no podrían desarrollarse la etiología ni la terapéutica del cáncer.

Al mismo tiempo, la radioterapéutica del cáncer no podría desarrollarse como una disciplina científica, y no puramente empírica, sin tener una idea detallada sobre la influencia de las radiaciones, distintas por su intensidad y frecuencia, y de las partículas, distintas por su especie, en el surgimiento de las reacciones radioquímicas a nivel molecular. Señalemos que se trata de procesos esencialmente cuánticos.

Se puede pensar que actualmente el uso de radiaciones en la agricultura y la medicina aún dista muchísimo por su carácter y envergadura de lo que se alcanzará en el último cuarto del siglo. Aquí hay que recordar la electrónica cuántica. No está excluido que ya a fines del siglo XX, con ayuda de la electrónica cuántica y la biología molecular, la humanidad dará un gran paso adelante por la vía del aumento radical de recursos alimentarios, la curación del cáncer y la prolongación esencial de la vida de los hombres.

G. Thomson dice que la actual genética de radiación ha-

ce recordar el intento de mejorar una estatua ametrallándola a gran distancia[14]. En efecto, las radiaciones que se emplean en nuestros días son un tiro al azar a fin de seleccionar, de un gran número de mutaciones inesperadas, las que son positivas, consolidándolas por una selección relativamente larga basada en varias generaciones de animales o plantas. Pero no podemos mantener un fuego de puntería contra el cromosoma porque, primero, no tenemos armas de precisión (la radiación se extiende a un gran sector del tejido vivo) y, segundo, no tenemos un blanco localizado con exactitud (no conocemos aún con suficientes detalles la estructura interna de la molécula del ADN y el papel de sus elementos en la formación de unas u otras mutaciones).

Por lo visto, la electrónica cuántica puede ayudar a precisar el fuego y localizar el blanco. El microscopio electrónico permite estudiar sectores muy pequeños. En este sector puede concentrarse un haz de electrones o un fino haz de cuantos de la radiación electromagnética. Esto será no sólo un tiro de puntería, sino también un método de localización del blanco, porque la electrónica permite estudiar experimentalmente las funciones de los elementos de la molécula del ADN en la formación de unas u otras mutaciones, investigar el mecanismo de su surgimiento y, en resumidas cuentas, obtener, influyendo sobre los elementos correspondientes de la molécula, mutaciones determinadas de antemano.

Trátase no sólo de la electrónica cuántica en la acepción estrecha, sino también de todo el conjunto de radiaciones distintas por la especie de partículas y por la energía y obtenidas de distintas fuentes. La electrónica cuántica permite dirigir a la célula y, luego, al cromosoma un haz extraordinariamente concentrado en el espacio. Por otra parte, se puede localizar más precisamente la radiación en el tiempo, valiéndose del efecto relativista: para la partícula incidente, el tiempo corre más o menos rápidamente en dependencia de la velocidad de movimiento de la partícula; correspondiente-

[14] Véase G. Thomson. *El futuro previsible*, ed en ruso, Moscú, 1958, pág. 134.

mente se puede regular el tiempo de su vida y la longitud del recorrido. Puede ser que en la terapéutica del cáncer se use ampliamente la irradiación por partículas relativistas, que se desintegren allí donde sea necesario, sin afectar los tejidos sanos.

Actualmente es difícil prever las formas concretas de la genética "de tiro de puntería" por radiación, de la terapéutica "de tiro de puntería" por radiación. Pero aquí no nos interesan estas formas concretas, sino la significación general de esta tendencia para el pronóstico de conjunto con vistas al año 2000. Esta tendencia consiste en pasar a la restructuración consciente y detallada de los biopolímeros. Si la electrónica cuántica concentra una multitud desordenada, y en este sentido "entrópica", de fuentes de radiación, la bioquímica cuántica, que usa haces finos de radiaciones de ondas cortas y flujos finos de partículas distintas por su especie y energía, disminuye el carácter desordenado de las influencias sobre los cambios genéticos.

La forma más entrópica, desordenada y no controlada de estos cambios son las mutaciones provocadas por el fondo de radiación. A fines del siglo XX se irá disminuyendo el papel de esta forma entrópica de influjo sobre la vida, extendiéndose las formas concentradas de tal influjo.

En uno de los capítulos siguientes trataremos el problema de la información y su acumulación y concentración, como pauta central del progreso en todos los dominios. Adelantándonos un tanto, podemos señalar lo siguiente.

La naturaleza ha ido bastante lejos por la vía de la ordenación estática de la herencia. El código genético posee un alto nivel de estabilidad. La molécula del ADN tiene una considerable "memoria" sobre la evolución de la especie y no "conoce" mal cuáles son los detalles de los organismos que se repetirán en el futuro. Pero la información sobre la alteración de la herencia no es abundante. Las mutaciones de las formas orgánicas no están programadas. La evolución de la vida orgánica no está ordenada más que estadísticamente: de una gran multitud estadísticamente representativa de mu-

taciones casuales se seleccionan y reproducen los cambios que aumentan la probabilidad de conservación de los organismos. Esto se explica en cierta medida por el carácter desordenado, casual y "entrópico" de las influencias, en particular de las influencias de la radiación, sobre la sustancia viva y los códigos genéticos de los organismos. La tarea fundamental de nuestro siglo consiste en ordenar y concentrar la radiación, disminuir su entropía (merced a su crecimiento en el medio ambiente). Esta tarea se cumple por la electrónica cuántica y los métodos análogos a ella. Subrayemos únicamente que la física cuántica es la base tórica tanto de un estudio más detallado de los biopolímeros como del progreso de la electrónica.

De lo que queda dicho sobre la influencia de la electrónica cuántica en la biología molecular y sobre el carácter no clásico de los procesos de modificación del código hereditario se infiere lo siguiente.

Las noozonas existen no sólo en una serie de partes discretas de la materia y en el espectro de las radiaciones. Existen también en la vida orgánica. La ciencia clásica conocía de las transiciones de las regularidades físicas y químicas a las propiamente biológicas de la ontogenia, creando en este punto de transición las condiciones físico-químicas iniciales para la ontogenia: la noozona de la ontogenia, las condiciones de riego y abono, que, a la par con la elección de las condiciones climáticas para los distintos cultivos, determinaban la probabilidad de cierta evolución ontogénica. La ciencia clásica estaba enterada asimismo de las condiciones iniciales de la filogenia, y la práctica combinaba las condiciones de selección de modo que surgiesen las nuevas particularidades de especie, representadas de antemano en forma de finalidad de la selección. La biología molecular contemporánea convierte en noozona la transición de las influencias físicas sobre la molécula a la estructura de la molécula que contiene el código genético, o sea, el cambio de este código.

Pero la posibilidad de dirigir las modificaciones del código genético dimana de la naturaleza no clásica de las in-

fluencias y de la naturaleza no clásica de la molécula de la sustancia viva.

Existe una conexión más entre la física cuántica y la biología. No se puede representarla en forma de una serie de procedimientos experimentales y esquemas físicos que pasan de la física a la biología. Trátase del aumento del *potencial intelectual* de la ciencia en conjunto, en particular de la biología, como resultado de una brusca ampliación –provocada por la mecánica cuántica– de lo que podría llamarse valencias asociativas del pensamiento científico. Cuando un científico busca el modelo que ponga de manifiesto la naturaleza de algún proceso, en su mente surge cierto número de asociaciones. El científico puede componer los conceptos y hechos que tiene a su disposición en correspondencia con cada asociación. Cuando Carnot pensaba en los límites del perfeccionamiento de las máquinas de vapor y en el paso del fogón al condensador, la matriz natural para el esquema termodinámico era el modelo mecánico del líquido que se trasvasa del recipiente con nivel más alto del líquido al recipiente con nivel más bajo. Cuando Faraday creaba su concepción del campo, las líneas de fuerza se asociaban con tubos elásticos. El científico escoge del mayor o menor número las asociaciones posibles. El número de estas asociaciones se multiplica al aparecer nuevas concepciones, que significan no sólo "el avance de la razón", sino también su "ensimismamiento".

Ahora detengámonos en la retroacción entre la física y la biología.

Al hablar de los resultados de la revolución en las representaciones sobre la vida, que marcó los mediados del siglo, se promueve a primer plano la influencia que ejercen sobre la biología los medios experimentales de la física y la química, los conceptos físico-químicos clásicos y cuánticos y el ascenso general del nivel intelectual provocado por la física teórica. Pero hablando de las perspectivas, el acento se desplaza un tanto. Por lo visto, en el último cuarto del siglo crecerá considerablemente la influencia inversa de la biolo-

gía sobre la física, la química y la técnica experimental e industrial, vinculada con la física y la química.

Esta influencia es posible en los niveles molecular y supramolecular. A nivel molecular, probablemente, se perfeccionarán los polímeros sintéticos, convirtiéndose en "esquema objetivo" los biopolímeros, o sea, macromoléculas de la sustancia viva. Estas últimas poseen varias ventajas, por ejemplo, la homogeneidad de la composición, no alcanzada en la química. En los polímeros sintéticos –cauchos sintéticos, plásticos y fibras– figuran cadenas de distinta longitud y arreglo de radicales y átomos. Se puede suponer que en los decenios próximos, la esfera de aplicación de los materiales sintéticos se amplíe a cuenta de la aproximación, a nivel molecular, a los materiales de origen orgánico. Al mismo tiempo, la biología molecular permitirá aumentar el número de materiales sintéticos con propiedades dadas de antemano y el espectro mismo de estas propiedades.

No está excluido que a nivel supramolecular el efecto inverso de la biología sobre la física conduzca a la posibilidad de imitar, en los mecanismos de fuerza de producción, las reacciones motrices de la sustancia viva.

Un esquema netamente mecánico o electromagnético no puede acercarse al músculo, con sus funciones mecanoquímicas, ni por el coeficiente del rendimiento ni por la diferenciación de movimientos.

G. Thomson comparaba la mano del mono, cogiendo naranjas, con la máquina que cumple la misma función con ayuda de la electrónica. La máquina electrónica cabría con dificultad en un camión y consumiría mucha energía. El mono pesa 20 kg, consumiendo 500 g de nueces[15]. Pero es la mano del mono. ¿Y la mano del hombre? La mano que "ha alcanzado ese grado de perfección que la ha hecho capaz de dar vida, como por arte de magia, a los cuadros de Rafael, a las estatuas de Thorvaldsen y a la música de Paganini"[16].

[15] Véase G. Thomson. *The Foreseeable Future.* Cambridge, 1955, p. 124.

[16] C. Marx y F. Engels. *Obras*, t. 20, pág. 488.

Puede ser que los movimientos de los músculos, que ceden a los de un mecanismo en cuanto a exactitud de las repeticiones, pero los superan al ejecutar las disposiciones diferenciadas del cerebro, pasen a ser modelos para la técnica industrial y experimental. Puede ser también que los dispositivos que imitan el músculo en funciones lo imiten asimismo a nivel molecular, componiéndose de macromoléculas sintéticas y actuando con ayuda de procesos mecanoquímicos. Mas no obstante, la reconstrucción de los mecanismos de fuerza más probable, por lo visto, se las pasará, al menos en los decenios próximos, sin polímeros sintéticos que imiten las funciones mecanoquímicas de los músculos; y las funciones de los músculos de trabajo las ejercerán sistemas compuestos de retículos cristalinos.

De eso se ha hablado ya. La influencia inversa de la biología sobre la física consiste en que las funciones del organismo vivo forman una especie de matriz, o esquema objetivo a que tiende el diseño de mecanismos cibernéticos. Huelga decir que estos mecanismos podrán (y pueden ya) hacer lo que es inaccesible para el organismo humano. Pero esto no priva al organismo del papel de esquema objetivo por la sencilla razón de que la cibernética siempre tendrá por finalidad principal suya la transformación del trabajo humano.

LA CIBERNÉTICA

La pauta fundamental de la transformación del carácter del trabajo a fines del siglo XX y comienzos del XXI se ligará a la física cuántica. Trátase de la cibernética. Ella se halla a gran distancia de sus antecedentes históricos: antiguas imitaciones mecánicas de los animales y el hombre. La cibernética se ha distanciado de ellos no sólo por la complejidad de los mecanismos, no sólo por las bases físico-técnicas, sino también por las funciones. Su principal tarea no está en imitar las funciones biológicas de los organismos, ni mucho menos en imitar el comportamiento biológico.

Se trata de una tarea principal, que constituye la base del pronóstico sincronizado convencionalmente al año 2000. Adelantándonos un tanto, comentaremos esta tarea. Ella consiste en programar no sólo la autorreproducción de los mecanismos, sino también su evolución sucesiva, su perfeccionamiento sucesivo y el paso sucesivo a parámetros distintos. Esta programación dinámica se distingue por principio de la filogenia biológica. Esta última se apoya en las leyes estadísticas de la selección. Resultan distintas las leyes de la filogenia de la técnica, el progreso técnico y el cambio del nivel técnico de cada generación nueva de máquinas. El progreso técnico arranca al hombre del poder de las regularidades estadísticas de la selección natural. La expresión suprema de la programación del progreso técnico será una serie de generaciones de máquinas que podrán crear esquemas más perfectos que los realizados en ellas mismas. Más adelante veremos que esta sustitución del hombre en su función dinámica reconstructora es la apoteosis del hombre en su esencia propiamente humana.

La cibernética evolucionaba en íntima relación con el estudio de las regularidades de la vida orgánica a nivel de molécula, célula, músculo o sistema nervioso. Estas regularidades se generalizaban; los conceptos fisiológicos y sicológicos se unificaban con los conceptos físicos y conceptos más generales aún de la informática. En el libro de Norbert Wiener *Cibernética o control y comunicación en el mundo animal y en la máquina*[17], sobre todo en su introducción, encontramos un relato vivo y rico en contenido sobre los primeros pasos de la cibernética, que pone de manifiesto la importancia de los problemas y conceptos biológicos para la génesis de la nueva ciencia. Mas, al mismo tiempo, desde las fases iniciales de su desarrollo, la cibernética evidenciaba cada vez más su participación en la transformación activa de la naturaleza, en la "adaptación artificial", que Marx oponía a la adaptación natural, biológica.

[17] N. Wiener. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.*

La sustancia viva se caracteriza ya a nivel molecular por estructuras con un número muy grande de elementos. Esta diferencia típica de la sustancia viva está relacionada con el almacenamiento de la información genética, que asegura la ontogénesis de los organismos y su autorreproducción, o sea, la conservación y la evolución de los caracteres de especie en la filogenia.

La estructura de la molécula del ADN determina la del ARN, y luego la estructura y la conducta de la célula, del tejido del organismo. Pero en el plano general, esta estructura cambia sólo bajo la influencia de efectos exteriores, por ejemplo, de unas u otras radiaciones. Puede cambiarse también espontáneamente, pero las mutaciones espontáneas no están programadas por el código genético. En la molécula del ADN no hay mecanismo de retroacción, que pueda provocar la restructuración del cromosoma, la restructuración del código genético y la elección de una vía distinta de filogenia.

Ahora, dirijámonos al mecanismo cibernético, sin olvidar que se trata de una perspectiva, de tendencias que ya existen, pero que tomarán su forma acabada en el futuro. Para la calculadora, que pasa a ser dispositivo de mando, es característica la siguiente operación. En cada momento, el mecanismo es capaz de calcular los resultados del cumplimiento de cierta directriz que puede mandarse a sí mismo (predeterminando una restructuración de su propio sistema) o enviar a receptores exteriores. Además, puede calcular los resultados del cumplimiento de distintas directrices, eligiendo a una de ellas como óptima, o sea, conducente al valor máximo o mínimo de algunas magnitudes programadas. Puede servir de ejemplo la máquina jugadora de ajedrez, que puede elegir la jugada de varias posibles, previo cálculo de los resultados de cada variante. Trátase de la retroacción. Pero se debe subrayar que ella no tiene carácter empírico, propio en el plano general de la conducta de organismos vivos. La selección de un organismo vivo evidencia su naturaleza empírica, si se determina por el reflejo condicionado. Pero incluso cuando una fiera elige el camino que conduce al abrevadero, a una

presa o a un refugio seguro, su conciencia confronta las impresiones empíricas grabadas en su memoria.

Al contrario, en la memoria de la máquina pueden no hallarse los resultados de las operaciones de cálculo y lógicas que ejecuta. En este caso tiene lugar la información previsional, el "código genético" con retroacción no empírica.

Merced al carácter no empírico de la retroacción, el mecanismo cibernético puede obtener un surtido de parámetros que aún no ha existido jamás en realidad y, habiéndolo confrontado con otros surtidos eventuales de parámetros, elegirlo para crear un nuevo sistema real sin precedentes reales. Así pues, la función dinámica, o sea, la modificación de la estructura y la conducta del sistema, lo que en el mundo orgánico no se programa por el código genético, se determina *ante factum* en la cibernética, forma parte de la información previsional, unida por la retroacción no empírica a los "*facta*" eventuales, y no reales. El "código genético" dinámico de la adaptación artificial puede incluir cambios más o menos profundos. La máquina cibernética, al calcular y elegir los parámetros óptimos de una máquina nueva, puede cambiar detalles, su composición, el ritmo del proceso tecnológico, etc., sin modificar el ciclo ideal; mas puede asimismo apuntar el paso a un ciclo distinto. No tardaremos en volver a la jerarquía de los cambios dinámicos cada vez más profundos que se producen al efectuarse la optimización automática de la producción.

Es muy esencial la diferencia entre el papel de un elemento de la sustancia viva en la evolución orgánica y el de un elemento del dispositivo cibernético. La influencia del elemento de la estructura orgánica –molécula aislada del ADN, el ARN o la proteína– sobre la dirección de la evolución orgánica es tan pequeña como la de la molécula aislada sobre la dirección de los procesos termodinámicos. El destino que corre la molécula orgánica, por ejemplo, las alteraciones de su estructura, puede provocar la mutación; mas para que ésta influya en la filogenia, el destino de la especie y la evolución orgánica se requiere el mecanismo de selección na-

tural, con sus regularidades estadísticas macroscópicas por principio. Otra cosa es cuando se trata de la selección artificial, por ejemplo, de la selección por radiación. En este caso se cuentan ya las mutaciones aisladas.

En las máquinas cibernéticas, los individuos elementales son aparatos al vacío o cristalinos, que reaccionan de una manera determinada a señales de diverso género. Es posible una reacción errónea de cierto instrumento elemental, ella se corrige o compensa; las máquinas cibernéticas comprenden dispositivos especiales de control y compensación. Pero su base no consiste en prescindir, sino en tener en cuenta la conducta de los elementos individuales de la máquina.

La divisoria entre los elementos de que se prescinde y los que se toman en consideración pasa entre la genética "de tiro de puntería" y la que cubre las "áreas de fuego" macroscópicos. De ellos se habló en el capítulo precedente. En cuanto a la cibernética, toda ella se encuentra en la esfera de los procesos "de tiro de puntería" y de contabilización de los procesos y destinos individuales. Los procesos estocásticos en la cibernética (en particular, los que garantizan la seguridad de mando) no se desprenden del olvido de los procesos individuales.

Uno de los relatos de Bradbury habla del viaje al pasado, a la época geológica pasada, con ayuda de la máquina del tiempo. Uno de los viajeros mata a un pequeño animal, produciendo un cambio en todo el desarrollo biológico e histórico de la Tierra. El cambio es negativo: al regresar al presente, los viajeros se enteran de la victoria del candidato fascista en las elecciones presidenciales en los EE.UU. Por lo visto, semejante cuadro fantástico no corresponde a las regularidades de la evolución biológica. En esta última, todo depende de los procesos macroscópicos, y los resultados del destino individual de un organismo se anulan por el elemento entrópico, al cual no se opone más que el ordenamiento *macroscópico* del ser. Pero el papel que desempeña en una máquina cibernética el proceso elemental no es despreciable, ni mucho menos, siendo aplicable por completo a este pro-

ceso la concepción de Bradbury. En una máquina cibernética capaz de encontrar la solución óptima, el proceso elemental puede cambiar esta solución. Como queda dicho, las máquinas cibernéticas incluyen dispositivos de control y neutralización de las alteraciones casuales de las reacciones elementales, pero estos dispositivos no se basan en la "mediación" y la preterición macroscópicas de los procesos elementales, sino en su contabilización. La base de la cibernética es el ordenamiento de los *microprocesos.*

Se debe únicamente tener presente que el ordenamiento de los microprocesos se distingue del ordenamiento macroscópico del ser. La conducta ordenada del conjunto estadístico de moléculas significa que, por término medio, todas las moléculas se mueven uniformemente, constituyendo un cuerpo en movimiento o inmóvil (en cierto sistema de referencia). Pero en este caso no hay indeterminación de la posición o del impulso de este cuerpo macroscópico. La entropía caracteriza el desorden de las moléculas que componen este cuerpo.

Al tratarse de objetos no compuestos por gran número de partículas, de objetos del micromundo, retículos cristalinos, moléculas constituidas por un pequeño número de átomos; al tratarse de los átomos mismos, sus núcleos y, por último, de las partículas elementales, la falta entrópica de información no se debe en absoluto a la preterición de las partículas más minúsculas, sino al influjo no controlado de los cuerpos macroscópicos sobre las partículas. Observamos aquí la indeterminación del acontecimiento aislado, único. En este caso no se trata de la limitación del ordenamiento y, respectivamente, de la información, sino más bien de la reinterpretación de los conceptos mismos de ordenamiento e información, cuando cierta escala de valores se convierte en determinación complementaria de estos conceptos. Mas adelante hablaremos de ello.

La cibernética pudo aparecer y plantearse tareas técnico-industriales y de investigación merced a que la ciencia obtuvo la posibilidad de irrumpir activamente en ese mundo cuántico de los microprocesos ordenados, de influir en algu-

nos de ellos y tratar directamente la discontinuidad de la sustancia y la radiación.

Las cadenas de operaciones matemáticas y lógicas de la máquina cibernética, que se emplean por lo común en el sistema binario de cálculo, hacen recordar el conocido juego en que se adivina el nombre de una persona después de recibir el "sí" o el "no" en respuesta a un número finito de preguntas. En una célula elemental del dispositivo cibernético, que las cuenta a millares, se opera cierto proceso que significa "sí" o "no", aproximándose sucesivamente a la respuesta a la pregunta hecha a la máquina. La respuesta puede dar solución a un sistema de ecuaciones, y tener el sentido más distinto, incluyendo el diagnóstico médico, el horario de trenes en toda una red ferroviaria, los parámetros de un nuevo mecanismo cibernético o las probabilidades de las distintas reacciones nucleares. Ahora bien, estos procesos elementales son paradójicos, son imposibles en general desde el punto de vista clásico.

La teoría de los cuantos del campo electromagnético comenzó su historia dando cuenta de semejantes procesos paradójicos. Después de que Planck descubriera la discontinuidad de la radiación y la absorbción de ondas electromagnéticas, Einstein llegó a la idea de los cuantos del campo electromagnético, partiendo de las peculiaridades del efecto fotoeléctrico, inexplicables en el marco de la física clásica. Este efecto consiste en que la luz arranca los electrones de la superficie de cierto cuerpo, por ejemplo, de una placa metálica. La energía del electrón arrancado por la luz corresponde a la aportada por la onda electromagnética. Al parecer, cuanto más lejos divergen las ondas electromagnéticas, tanto menor es la energía de cada punto de la onda amplificada, ya que disminuye la densidad de energía en el frente de la onda. Así pues, la energía de la onda electromagnética en el punto en que ésta arranca al electrón de la superficie de la placa debe depender de la distancia entre esta última y la fuente de luz. Pero en realidad, la energía del electrón arrancado de la superficie de metal no depende de esta distancia. Como se-

ñalara Kramers, resulta como si un marinero, al lanzarse desde un buque al mar, provoca una onda circular que llega a otro marinero, que se baña en otro extremo del mar, y la energía de la onda fuese suficiente para lanzarlo del mar a la cubierta de su buque. El hecho paradójico desde el punto de vista clásico resultó natural, al suponer Einstein que la luz existía en forma de cuantos, que recibieron el nombre de fotones.

Procesos semejantes en este sentido al efecto fotoeléctrico, paradójicos en el marco de la teoría clásica y naturales en la física cuántica, son procesos principales técnicamente aplicables en la electrónica cuántica y la genética de radiación. Ellos, precisamente, permitieron a la cibernética convertirse en factor principal de la transformación del carácter del trabajo.

En la primera generación de máquinas cibernéticas se empleaban instrumentos al vacío. Si en un tubo de cristal se sueldan electrodos, extrayéndose al aire, la corriente eléctrica pasará a través del tubo, cuando uno de los electrodos emite electrones, que llegan al otro electrodo. Para eso hay que calentar uno de los electrodos. En la lámpara de incandescencia corriente, el filamento candente emite tanto cuantos de luz como electrones. Se puede soldar en la lámpara otro electrodo, poniéndola en circuito de modo que el filamento sea cátodo, y el segundo electrodo sea ánodo. En este caso, las cargas negativas —electrones— pasarán del cátodo al ánodo, convirtiéndose la lámpara en conductor.

Variando y combinando semejantes esquemas, podemos obtener aparatos que transmitan la corriente en una sola dirección o aparatos que sean conductores y, por el contrario, se conviertan en aisladores, al aplicárseles la tensión, o que conecten y desconecten la corriente, al recibir dos impulsos iguales o distintos. En general, semejantes aparatos al vacío parecen contestar "sí" o "no" (conectan o desconectan el circuito), cuando reciben dos impulsos (esto corresponde a la conjunción "y" en la pregunta hecha) o cuando reciben uno de los impulsos (esto corresponde a la conjunción "o"). La

reacción de semejante aparato es análoga a la respuesta positiva o negativa a la pregunta en que se exponen las condiciones expresadas por alguna operación lógica. Cabe subrayar la velocidad de tal respuesta. En la evolución biológica, el medio contesta negativa o positivamente a la pregunta de los organismos que han experimentado mutaciones. Da una respuesta positiva (las mutaciones se consolidan por la selección) o negativa (el medio las rechaza). La respuesta exige numerosos experimentos en el curso de muchas generaciones y se demora por milenios. Se puede construir un mecanismo macroscópico tipo cierre, que se abra (respuesta afirmativa) o no se abra (respuesta negativa), o un aparato en que el inducido se atraiga o no se atraiga por el imán. Pero en ambos casos, debido al carácter macroscópico de los aparatos, su funcionamiento requiere grandes energías y plazos prolongados de cada proceso elemental. El ordenamiento macroscópico de los procesos quiere decir que las partículas asociadas en inmensos conjuntos actúan uniformemente. Estos conjuntos —resortes, ejes, ruedas dentadas, el inducido del electroimán, etc.— se mueven en una escala espacial macroscópica de milímetros y centímetros y en una escala temporal macroscópica de segundos. Las velocidades de las reacciones de los mecanismos macroscópicos no pueden ser altas incluso siendo muy altas las energías.

La electrónica parte de procesos microscópicamente ordenados, que conducen a efectos macroscópicos. Tomemos el ejemplo de los aparatos electrónicos ya mencionados. El proceso de partida es la emisión de electrones. Es un proceso esencialmente microscópico. Su resultado consiste en cerrar o interrumpir el circuito eléctrico, que puede ser lo bastante potente para provocar desplazamientos de masas macroscópicas. Los acontecimientos microscópicos, en los que participan partículas discretas de la sustancia y las radiaciones, se producen en una escala espacial y temporal muy reducida. En este caso son esenciales las milésimas y millonésimas de centímetro y de segundo. En estos intervalos tiempo-espaciales tienen lugar acontecimientos que dan origen a procesos ma-

croscópicos tales como el cambio de régimen del funcionamiento de decenas de gigantescas centrales eléctricas.

Las señales que cambian la resistencia de los aparatos electrónicos pueden ser luminosas y actuar sobre los cátodos fríos. El efecto fotoeléctrico (efecto paradójico desde el punto de vista clásico, que condujo a la idea de los cuantos de luz) constituye la base de las pilas fotoeléctricas, donde la luz arranca del ánodo los electrones que transmiten la corriente a través del tubo al vacío. El empleo de señales luminosas no sólo incluye en el número de señales de partida para los aparatos electrónicos toda la esfera de impresiones visuales, comprendidos los preparados puestos bajo el objetivo del microscopio, y el cielo centellante observado a través de un telescopio. La fotopila reacciona también a las oscilaciones electromagnéticas que se hallan al margen del espectro visible. Como se ha dicho ya, estas oscilaciones permiten asociar los elementos de los dispositivos cibernéticos valiéndose de los medios de la electrónica cuántica "de tiro de puntería" y de los haces laser, comprendidos los ultravioletas y de ondas aún más cortas.

Los tubos electrónicos fueron sustituidos por otros instrumentos. Su aparición y difusión estaban vinculadas con el rápido desarrollo de la teoría cuántica del cuerpo sólido. La física clásica considera el estado sólido como conjunto de partículas que son también estados sólidos muy pequeños, pero que no se diferencian de los macroscópicos por el carácter de conducta. La física cuántica del estado sólido describe procesos específicos que desconoce el cuadro macroscópico del mundo. Precisamente estos procesos paradójicos desde el punto de vista de la física clásica se utilizan en los aparatos cibernéticos. La teoría cuántica permite formarse una idea mucho más precisa de los procesos específicos de modificación de la conductibilidad de los cristales y dirigirlos en medida considerablemente mayor. Además, existen varias sustancias semiconductoras. Su conductibilidad depende de la composición y los influjos externos, por ejemplo, de la absorbción de la luz. Por eso, los sistemas de aparatos semi-

conductores pueden ejecutar todas las operaciones que ejecutan los sistemas de aparatos al vacío, captando y procesando la información contenida en las señales que llegan desde fuera.

Los aparatos semiconductores difundidos inicialmente en la radiotécnica son elementos fundamentales de los dispositivos cibernéticos. Consumen mucho menos energía que los tubos electrónicos, que gastan una cantidad considerable de energía para calentar el cátodo: fuente de electrones. Tiene una importancia mayor todavía el hecho de que los procesos electrónicos en un cristal transcurren mucho más rápidamente que al vacío. Los aparatos semiconductores, como células elementales de las máquinas cibernéticas, permitieron aumentar el número de operaciones de millares a centenares de millares y a millones por segundo.

Las posibilidades de las máquinas cibernéticas han sido ampliadas no sólo por los semiconductores, sino también por otras aplicaciones prácticas de la teoría cuántica del estado sólido. En ellas se utilizan los procesos paradójicos desde el punto de vista clásico. La descripción fenomenológica de los procesos empleados en los aparatos cibernéticos sería posible también sin profundizar en la teoría no clásica. Pero la cibernética se caracteriza por una transición casi ininterrumpida a nuevos principios físicos, la concepción sistemática de nuevos y nuevos aparatos (nuevos en un plano cada vez más radical y fundamental) y, sobre esta base, la automatización de operaciones cada vez más complicadas. Este progreso de la cibernética, que asegura no sólo la velocidad no igual a cero, sino también la aceleración no igual a cero del progreso tecnocientífico en conjunto, exige que la ciencia no se limite a presentar una descripción fenomenológica de los procesos mencionados.

No hay necesidad de seguir caracterizando los aparatos elementales, de los que se componen las máquinas cibernéticas. No hay necesidad de describir los esquemas de estos dispositivos, los esquemas de solución automática de problemas matemáticos, de recepción y tratamiento de información,

de bloques de memoria y mecanismos de mando. En este libro no se analizan más que dos problemas: la conexión del progreso tecnocientífico a fines del siglo XX con la ciencia no clásica y los resultados de este progreso. Las breves características de los principios físico-técnicos, plasmados en las lámparas al vacío, los aparatos semiconductores y los criotrones, ilustran el nexo de la cibernética con la mecánica cuántica. Ahora procede pasar al efecto económico de la cibernética. No se trata de enumerar o sistematizar lo que la cibernética puede dar a la industria, el transporte, las comunicaciones, etc. Se trata del resultado integral, que puede determinarse sin enumerar y sumar las aplicaciones industriales concretas de las máquinas cibernéticas.

Este resultado integral es la automatización de los procesos de producción aún inestables y una dinamicidad más alta de producción. En la década del treinta, al comenzar el empleo relativamente amplio de fotopilas, produjo una fuerte impresión en mucha gente la fotopila, con ayuda de la cual la débil luz de una estrella lejana conectaba el alumbrado y las instalaciones de fuerza de una gran exposición internacional. En aquel entonces, las perspectivas de la automatización se vinculaban con la conexión y desconexión de circuitos de fuerza, al surgir, interrumpirse o cambiar la intensidad de los haces luminosos. Ahora se trata de una transformación distinta, mucho más radical y general de la producción, la cultura y el experimento científico. Las señales y los procesos electrónicos, provocados por ellas, dan comienzo a largas series de otros procesos electrónicos, cuando cada proceso subsiguiente está vinculado con el anterior como eslabón de una deducción lógica o matemática. Estas largas series adquieren carácter de cálculo, de solución de sistemas de ecuaciones y de descubrimiento de nuevos diseños de máquinas óptimas, procesos tecnológicos óptimos, flujos de cargas óptimos, emplazamiento óptimo de la industria, etc. Las máquinas cibernéticas de la primera generación podrían constituir ya la base del pronóstico nuevo por principio, en comparación con la primera mitad del siglo, del carácter de tra-

bajo. Las máquinas cibernéticas no sustituyen al hombre en las operaciones consistentes en conectar y desconectar un aparato electromagnético. Esta sustitución estaba al alcance de los relés fotoeléctricos de los años treinta y cuarenta. Las máquinas cibernéticas de la primera generación podían ya hacer más. Son capaces de sustituir al hombre en sus funciones dinámicas. Aclaremos este concepto.

En la producción, lo mismo que en la naturalea, figuran varios procesos, cada uno de los cuales puede considerarse como repetición del mismo acto invariable. Se les sobrepone otro proceso, consistente en el cambio de tal acto, que ahora no se repite ya en forma inmutable. Admitamos que el proceso de repetición invariable es el movimiento por inercia, uniforme y rectilíneo. El acto que se repite será en este caso el recorrido en el mismo tiempo de trechos iguales en los que se divide el camino. La velocidad es invariable. Imaginémonos que al movimiento del cuerpo se sobrepone otro proceso: cambio de su velocidad, aceleración. Este proceso es dinámico respecto del movimiento por inercia, pero también en él existe algo que puede permanecer inmutable: ese algo es la aceleración misma. Si la aceleración aumenta con el correr del tiempo, tiene lugar un proceso dinámico de categoría más elevada. En caso de continuidad corresponden a estos procesos, como características invariables, derivadas temporales de orden cada vez más alto del camino recorrido: la primera derivada (velocidad), la segunda (aceleración), la tercera (velocidad de incremento de la aceleración), etc.

En la producción podemos imaginarnos la repetición de las mismas operaciones; luego, el proceso dinámico de transición de unas operaciones a otras, modificándose el diseño de máquinas y los métodos tecnológicos, pero siendo invariable el esquema físico o químico; luego el cambio del esquema mismo. De ello se trató al comienzo del libro. Por lo visto, la cibernética va a regular poco a poco procesos dinámicos de categoría cada vez más alta.

Las fotopilas de los años treinta y cuarenta regulaban

el paso automático de una operación a otra, sin cambiar el conjunto de operaciones que constituían el proceso tecnológico. Una función distinta, dinámica, consiste en pasar a un nuevo conjunto de operaciones, a una nueva tecnología a base de la concepción de nuevos mecanismos. Esta función puede ser automatizada en alto grado con ayuda de las máquinas cibernéticas que, partiendo de los programas dados, calculan parámetros más perfectos de diseños de máquinas y métodos tecnológicos. De ahí el paso a un dinamismo de categoría más alta en la producción, y la concentración del trabajo del hombre en funciones más dinámicas. La máquina cibernética, que dirige un proceso estacionario, ejecuta series de operaciones relativamente simples. Pero, si el objeto de dirección es un proceso no estacionario, su regulación exige emplear cadenas más complicadas de transmisión de información. El cambio por la máquina cibernética de carga de los agregados industriales, de los flujos de cargas, de la distribución de flujos de energía en el circuito eléctrico, etc., requiere cadenas lógico-matemáticas muy largas. Para que las cargas se redistribuyan ininterrumpidamente es necesario que las operaciones elementales se ejecuten con gran rapidez. Por eso, el empleo de aparatos de acción rápida permite automatizar procesos cada vez más dinámicos y pasar de la regulación de los procesos establecidos a una optimización incesante de los procesos, en dependencia de las condiciones cambiantes. La optimización va adelante ya no a costa de la redistribución de la carga de los agregados existentes, sino merced al paso a agregados más perfectos: diseño y fabricación automáticos de nuevas máquinas. En este caso, las cadenas de procesos elementales en las células de los dispositivos cibernéticos deben transmitir la información sobre los estados consecutivos y el efecto de los sistemas compuestos de muchísimos detalles, deben confrontar variantes cuyo número crece como una avalancha. Esto equivale a jugar ajedrez en una tabla con un colosal número de casillas, un colosal número de figuras y de reglas que cambian sin cesar, con la particularidad de que el juego es con-

tinuo, ininterrumpido, no hay intervalos para reflexionar sobre las jugadas.

Esto permite ver el posible efecto del paso, en las máquinas cibernéticas, de los aparatos al vacío a los semiconductores. Este efecto se observa no muy claramente, sin detalles, pero puede ser formulado de modo general: los dispositivos cibernéticos modernos permiten automatizar no sólo los procesos establecidos y no sólo los procesos dinámicos de reagrupamiento de cargas de los agregados, sino también los procesos dinámicos de diseño de nuevos agregados y de modificación de la tecnología industrial.

Se puede imaginar que en el curso del decenio próximo se coronará la automatización de los procesos establecidos y de su regulación. Las alteraciones casuales del ritmo y la sucesión establecidos de operaciones se eliminarán automáticamente. Sin embargo, la función principal de los mecanismos cibernéticos debe ser la regulación de los procesos dinámicos. Tales son, ante todo, las mencionadas redistribuciones de cargas. En este caso, la regulación comprende la solución de cuestiones del tipo siguiente; ¿cómo deben modificarse las cargas de los distintos agregados para satisfacer del mejor modo la demanda? Tomemos a título de ejemplo un circuito de centrales eléctricas unidas por transmisiones de alto voltaje. Para que las calderas de las centrales funcionen con regularidad, eliminándose automáticamente las alteraciones casuales del régimen, bastan aparatos relativamente simples termoeléctricos, fotoeléctricos, etc. La redistribución de cargas entre las centrales y los agregados, cambiándose el consumo de energía o existiendo otras condiciones variables, exige ya resolver con rapidez problemas matemáticos y ejecutar automáticamente las decisiones óptimas. Lo mismo se refiere al suministro de gas y de agua, a los sistemas de calefacción, al tráfico de cargas y, en grado creciente, a la extracción de combustible y materias primas, a los procesos tecnológicos ininterrumpidos en la industria, etc. Se puede imaginar que en el curso de uno o dos decenios, en todas las ramas principales de producción se efectuará la

regulación dinámica en forma de redistribución de cargas con ayuda de dispositivos cibernéticos.

Pero esto no es más que la primera faena productiva integral de la cibernética. La redistribución de cargas hace dinámicos aislados procesos de producción y el trabajo de aislados agregados y empresas, pero la producción en conjunto sigue siendo un proceso establecido, sin que cambien los parámetros integrales que la caracterizan (comprendido el más importante de ellos: la productividad del trabajo social). En este caso no existe una evolución dinámica irreversible, única para toda la producción en conjunto, no existe el progreso técnico y tecnoeconómico.

Esta evolución se garantiza por el paso a nuevos diseños de máquinas y procesos tecnológicos. ¿Puede asumir la cibernética el cumplimiento de esta tarea? Ante todo, hay que eliminar los posibles malentendidos. No se trata en absoluto de la plasmación real de la máquina de John von Neumann, es decir, de una máquina cibernética que se reproduzca en forma de una serie de máquinas de los mismos parámetros. No se trata tampoco de un constructor cibernético que desplace al constructor vivo. Se trata de que el constructor vivo utilice máquinas cibernéticas que encuentren muy rápidamente (en la escala temporal del trabajo de constructor, prácticamente en seguida) los parámetros concretos, correspondientes a cada variante nueva del nuevo agregado que se diseña, calculen el efecto de cada variante y las confronten, encontrando la óptima. No es tan esencial cuántos constructores vivos utilizarán la ayuda de las máquinas cibernéticas. Es esencial lo otro. Aumentarán muchas veces el ritmo de trabajo de los constructores y la elaboración de nuevos procesos tecnológicos. El progreso técnico se hará ininterrumpido, incluso si se toman las ramas particulares de producción y se observa su evolución durante períodos relativamente cortos de tiempo.

Al tratarse de la producción y la evolución de sus índices técnicos y tecnoeconómicos, el concepto de continuidad adquiere un sentido específico. Cambian las magnitudes medias

estadísticas, por ejemplo, para la producción en conjunto. Con esta reserva (para la producción en conjunto), el nivel técnico se elevaba ya ininterrumpidamente en algunos períodos de la primera mitad de nuestro siglo. Actualmente, la cibernética, empleada en oficinas de diseño, laboratorios tecnológicos e institutos de proyección, permite lograr un progreso técnico ininterrumpido no sólo en la producción en conjunto, sino también en sus ramas por separado.

El viraje radical en el curso del progreso técnico es el paso de la elevación ininterrumpida del nivel técnico al aceleramiento incesante de este proceso, que mencionamos ya en el capítulo *¿Por qué el año 2000?* La base de este aceleramiento es la aparición de nuevos y nuevos esquemas físicos y químicos ideales. La aproximación a estos esquemas constituye precisamente la médula misma del progreso técnico. ¿De qué depende la aparición de nuevos esquemas ideales, es decir, el progreso de la ciencia en dominios vinculados directamente con los problemas aplicados? El ritmo de progreso científico en estos dominios depende de la retroacción, de la aplicación de los resultados de las investigaciones en la producción, de las indagaciones básicas que por sí mismas no dan directamente resultados aplicados, de la velocidad de transmisión de la información científica y, en grado muy alto, de la velocidad de confrontación de las conclusiones teóricas con el experimento. La cibernética figura en todos estos factores que aceleran el progreso científico. Nos detendremos únicamente en el último factor: la velocidad de la comprobación experimental de las conclusiones teóricas. En el contexto de la matematización actual de casi todas las ramas de la ciencia, la vía de cierta concepción teórica a las conclusiones que puedan ser objeto de comprobación experimental, comprende, las más de las veces, largas series de cálculos. A veces exigen de los computadores trabajar meses e incluso años. Las máquinas realizan estos cálculos en minutos contados. El empleo de máquinas computadoras es una de las bases que permite proyectar para los últimos decenios del siglo XX un torrente prácticamente ininterrumpido de

nuevos esquemas físicos y químicos, que devendrán esquemas objetivos del progreso técnico.

La velocidad del progreso científico no determina la velocidad sino el aceleramiento del progreso técnico. Este último puede poseer cierta velocidad y ser prácticamente ininterrumpido, incluso siendo invariables los esquemas ideales a los que tiende la creación técnica, el pensamiento de diseñadores y tecnólogos. Si se modifican ininterrumpidamente los esquemas ideales mismos, el progreso técnico adquiere un aceleramiento ininterrumpido.

¿Podemos proyectar una dinamización mayor aún de la producción y prever el incremento de la aceleración misma del progreso? De eso se ha hablado ya. Por ahora no iremos tan lejos. Para semejante ritmo de progreso técnico se necesita que la propia creación científica se aproxime con velocidad cada vez mayor, o sea con aceleración, a sus ideales; se necesita que los ideales mismos de la ciencia sean móviles. ¿Qué son los "ideales de la ciencia"? ¿Han adquirido movilidad? ¿La adquirirán en el futuro? Contestaremos después a estos interrogantes. Por ahora señalemos que las reflexiones sobre los ideales finales del conocimiento científico no se convertirán, en un futuro previsible, en función del dispositivo cibernético, aunque vayan apoyándose en grado cada vez mayor en los cálculos y observaciones hechos por las máquinas electrónicas. Para el siglo XXI, la figura del robot cibernético, que medite sobre los principios fundamentales y los ideales de la ciencia, seguirá siendo fantástica. Pero de estos principios e ideales se tratará más abajo.

De lo expuesto dimana que la *sustitución* del hombre en cualquiera de sus funciones es la caracterización menos enjundiosa del influjo de la cibernética sobre el carácter del trabajo. El aspecto esencial del problema consiste en la transformación cualitativa del trabajo del hombre y en una colosal ampliación de la esfera de su empleo, en el crecimiento del número de las fuerzas de la naturaleza compuestas racionalmente por el hombre. La transformación del trabajo consiste en su concentración en funciones cada vez más

creadoras. La jerarquía de los procesos dinámicos —cambio del régimen y carga de los agregados, modificación de la técnica, de los esquemas ideales, o sea, de las funciones objetivas del progreso técnico, modificación de los principios de la ciencia— es la escalera por la que el hombre sube sucesivamente, peldaño por peldaño. El trabajo comprendía siempre componentes dinámicos cada vez más altos: cambios de la técnica, la ciencia y los principios fundamentales. Pero estos cambios eran virajes discretos. Los peldaños de la escalera de la ciencia son momentos en que la función cada vez más dinámica se realiza como proceso ininterrumpido. El pronóstico para el año 2000 incluye el paso al *aceleramiento* incesante del progreso técnico merced a la aparición de nuevos y nuevos esquemas ideales de los ciclos mecánicos, físicos y químicos.

No cuesta trabajo advertir que las funciones dinámicas superiores no se realizan sin las inferiores. Si existen oficinas de diseño, laboratorios tecnológicos e institutos de proyección, que son receptores de nuevos esquemas ideales que aceleran el progreso técnico, que, por su nivel y potencial, pueden hacerse cargo de estos esquemas, calcular variantes de su plasmasión ingenieril, confrontarlas y elegir las óptimas, las investigaciones científicas constituirán la fuente de aceleración del progreso técnico. Y, por supuesto, si las pueden calcular, confrontar y elegir con la gran velocidad que se alcanza con ayuda de las computadoras electrónicas.

A su vez, las oficinas de diseño, los laboratorios y los institutos de proyección ejercen su función dinámica, si la industria es capaz de convertir muy rápidamente los nuevos diseños en series de agregados explotables. En todos los casos, tanto al realizar los descubrimientos científicos como al asimilar las máquinas y tornos de nuevo tipo y la nueva tecnología, un elemento necesario de la realización y la asimilación serán los dispositivos cibernéticos que conviertan los esquemas ideales en parámetros de los nuevos diseños, y estos últimos, en características tecnoeconómicas de explota-

ción, confrontándolos y ofreciendo soluciones óptimas. Es la cibernética, precisamente, la que convierte la ciencia, la técnica y la explotación de equipos en algo único, sin intervalos temporales que separen a estos componentes y, además, en algo complejo cuyos componentes no se realizan uno sin otro.

Unas cuantas palabras sobre la actitud de la cibernética hacia la física no clásica, mejor dicho, hacia lo que puede llamarse *espíritu* o *estilo* de la ciencia no clásica y que está ligado directamente al cambio del carácter del pensamiento científico en el siglo XX. Lo característico de la ciencia clásica es la explicación de los procesos macroscópicos y cósmicos por la mecánica de los elementos del ser. En los siglos XVIII y XIX, este papel lo desempeñaban las moléculas y los átomos, pero a fines del siglo XIX aparecieron en la ciencia las partículas elementales, imposibles de explicar por la mecánica de algunas subpartículas. En nuestros tiempos, a fines del siglo XX, se ha hecho claro que la conducta de las partículas elementales debe considerarse en relación con la conducta de las galaxias, que los procesos en esferas de un orden de miles de millones de años luz explican el curso de los procesos en esferas de un orden de 10^{-13} cm y 10^{-24} seg, que la astrofísica es inseparable de la física de las partículas elementales y que el concepto de transmutación elemental pierde sentido sin el aspecto macroscópico, sin la física de las líneas universales. De todo eso se ha tratado ya y se tratará en parte en otros capítulos de este libro. Ahora procede hablar de algo distinto. De la nueva concepción de lo infinitamente (o finitamente) grande y lo infinitamente (o finitamente) pequeño. De la nueva comprensión de la concatenación del continuo todo y sus elementos locales, *fuera-aquí-ahora* y *aquí-ahora*. De la nueva comprensión del nexo entre la integral y la diferencial. Y, a diferencia de las construcciones propiamente físicas, no tanto del contenido de las concepciones físicas y astrofísicas como de las modificaciones en el sujeto del conocimiento del mundo, en la razón humana misma, en el estilo del conocimiento. Precisamente

este problema –la modificación del sujeto del conocimiento bajo la influencia de su objeto y su contenido– es más próximo al tema del presente libro: la filosofía del optimismo. El "ensimismamiento de la razón" laplaceano acompaña ahora cada o casi cada esencial "avance de la razón" constituyendo un importantisimo influjo de la ciencia sobre la lógica y el acompañamiento emocional del pensamiento humano.

La teoría de la relatividad, si se la toma como una de las fuentes de la filosofía del optimismo (y este enfoque, precisamente, de dicha teoría es una de las ideas fundamentales del presente libro), significa la relativización de la imagen local de la ciencia clásica, o sea, de un cuerpo en movimiento sin relacionarlo con cuerpos de referencia. Es la base del pensamiento integral sobre el mundo, la concepción integral del movimiento y la referencia del movimiento al conjunto de cuerpos infinito (o finito, pero prácticamente infinito respecto de los elementos locales). La física atómica y nuclear concentra la atención en las reservas de energía surgidas, al formarse los núcleos, y en los procesos de emisión de energía, que constituyen la base de la evolución de los astros... Esta integralización del pensamiento sobre el mundo y la creación de la megaciencia –ciencia sobre el mundo infinito y sus elementos infinitamente pequeños– es uno de los principales resultados de la influencia de la teoría de la relatividad sobre la civilización del siglo XX.

Pero la integralización caracteriza no sólo el pensamiento sobre el mundo, sino también la influencia sobre el mundo. La producción moderna influye en el mundo de manera distinta que la que aplicaba la ciencia clásica. Esta última producción se asociaba con la ciencia misma, con la concepción del mundo y su efecto era el resultado estadístico de algunos hechos aislados, como, por ejemplo, el efecto filogenético de millones de tragedias en que desembocaba la existencia de tantos individuos. En la producción, el resultado masivo, tanto económico como ecológico, era la media o el total estadísticos de actos técnicos y económicos individuales, obtenidos con arreglo a una determinada matriz

macroscópica. Actualmente, en un acto técnico y económico individual se concentran sus resultados virtuales: por ejemplo, el paso a los reactores rápidos modifica la estructura de los recursos utilizados en la producción y cambia su emplazamiento y las condiciones ecológicas. Por eso, la producción moderna no puede apoyarse ya en el juego estadístico de las fuerzas espontáneas, no puede existir sin un cálculo que englobe a países enteros y se extienda a mushos decenios. Aquí lo decimos de paso para volver más adelante a semejante problema fundamental. Por eso, ahora crece lo que puede llamarse "pensamiento nomosférico": pensamiento sobre los resultados ecológicos planetario-seculares de las acciones de las ciencias naturales y económicas, que son actualmente inseparables.

La ciencia no clásica no sólo plantea ante sí misma y ante la producción problemas integrales, sino también permite resolverlos. Los problemas de elección, de encontrar lo óptimo y de calcular lo que es y lo que debe ser consisten, en parte considerable, en encontrar y confrontar soluciones integrales. Estos fueron también los problemas –primeros históricamente– que dieron comienzo al cálculo de variaciones, los problemas minimax, que fueron más tarde tan importantes para elaborar y aplicar el principio de la acción mínima. La ciencia no clásica, que, al conocer y transformar el mundo en escalas sin precedentes, vincula los acontecimientos locales con los procesos globales y cósmicos, convierte la solución de los problemas minimax y las operaciones de cálculo, en conjunto, en condición de aplicación de sus principios. En este sentido, la técnica de cómputo y la cibernética son ramas no clásicas no sólo por apoyarse en procesos no clásicos en computadoras electrónicas, en procesos paradójicos desde el punto de vista de la física clásica. La cibernética y la matematización del conocimiento y la producción, como moléculas esenciales de la civilización del siglo XX, como transformación del pensamiento humano, como transformación del sujeto del conocimiento y la voluntad, encuentran sus nuevas fuentes en la ciencia no clásica.

"SÉ CÓMO" Y "SÉ DÓNDE"

Recordemos los conceptos de entropía y entropía negativa, examinados en el ensayo *El optimismo, el ser, el movimiento* de la primera parte de este libro. Como queda dicho allí, tales conceptos pueden ser sintetizados y referidos no sólo al movimiento de las moléculas y a los desniveles de temperatura, sino también a otros procesos desordenados (entropía) y a su ordenamiento (entropía negativa).

A mediados de nuestro siglo, estos conceptos fueron empleados con gran efecto en la teoría de la comunicación. La *señal*, o sea, el conjunto de microprocesos ordenados (por ejemplo, ciertas modulaciones de las ondas sonoras o electromagnéticas), es un concepto referente a la entropía negativa, al que se opone y estorba el ruido: los microprocesos entrópicos, desordenados. La línea de comunicación transmite energía e impulsos, pero su tarea no consiste en ello. La energía se traslada con ayuda de transmisiones mecánicas o redes de alto voltaje. Al contrario, los cables telefónicos y las ondas hertzianas transmiten información, y cuanto menos energía lleven, tanto mejor. La transmisión de información no se reduce a transmitir energía, aunque es inseparable de este proceso. El habla no se reduce (por lo menos, no siempre se reduce) a transmitir energía de las oscilaciones del aire, a agitar el aire. Respectivamente, la radiotransmisión no siempre se reduce a estremecer el éter.

Aquí no tenemos necesidad de definir el concepto de información. Sabemos ya que este concepto se sintetiza y puede ser aplicado, por ejemplo, a los dispositivos cibernéticos y hasta a la estructura de las moléculas del AND y ARN, que contienen la información sobre los caracteres hereditarios de los organismos.

En el capítulo sobre la cibernética se delimitaron dos variedades de información y, respectivamente, dos tipos de entropía negativa. En un caso, el "código genético" (este concepto biológico puede ser empleado en el sentido traslaticio y entrecomillado) no conduce a la aparición de largas

cadenas de procesos elementales que permitan ver a dónde lleva una u otra variante de evolución próxima y elegir ya ahora la variante óptima a base de la retroacción. La posibilidad de la retroacción no existe en el código genético sin comillas, en la información genética que se contiene en la molécula del AND y en la del ARN. En este caso, el organismo y la especie evolucionan sin un modelo dinámico previo, y la molécula no confronta las distintas variantes de evolución. Un tipo distinto de información se observa cuando en el cerebro o el dispositivo cibernético surgen, prácticamente al mismo tiempo, distintas variantes de evolución, que la anticipan, permitiendo elegir una u otra variante.

Semejante información en condicional ("de haber tenido lugar ahora los actos tales, en el futuro se habrían producido los fenómenos tales"), o sea, la información previsional, es típica del trabajo, la técnica y la producción. En otros términos, es típica de la actividad racional, que –recordemos lo dicho por Marx– distingue al peor arquitecto de la mejor abeja, que lo supera por una pulera arquitectónica de celdillas. En el cerebro del hombre surgen las imágenes de lo que se hará si los actos laborales siguen la sucesión proyectada, y él elige la sucesión que ofrece la variante óptima. Un dispositivo cibernético puede obtener análoga información previsional y eligir la variante óptima, imitando de este modo la función del hombre.

Enfoquemos dicha función según el concepto de entropía negativa. El trabajo aumenta la entropía negativa. Los ejemplos mencionados de las estructuras macroscópicas (dirección ordenada de las fibras en un tejido en vez de su entrelazamiento desordenado en el algodón; distribución ordenada de calor: en la caldera hace más calor que en el condensador, dentro de la casa hace más calor que afuera; disposición ordenada de los metales en una aleación o en un artículo metálico, etc.) poseen una entropía negativa más alta, alcanzada merced al aumento de la entropía. Pero no es este incremento de la entropía el que define el trabajo. En un sistema cerrado, la entropía negativa disminye, creciendo

respectivamente la entropía. Pero la producción no es un sistema cerrado. La producción es el crecimiento de la entropía negativa a expensas de su disminución, o sea, del incremento de la entropía, en un sistema más amplio.

Los procesos de entropía negativa, como son las vías de progreso técnico trazadas actualmente, se vinculan con las variantes de pronóstico, con la elección de la variante óptima.

La energía atómica eleva los saltos térmicos a niveles desconocidos por la energética clásica. Los lasers transforman la energía dispersa de la radiación espontánea de lámparas en energía concentrada de la emisión inducida coherente, que llega a enormes densidades. La genética por radiación permite pasar de una multitud dispersa y desordenada de mutaciones espontáneas a series ordenadas y, por eso, controlables de mutaciones provocadas artificialmente. La cibernética eleva la categoría del ordenamiento del ser y compara las cadenas muy largas de procesos ordenados, eligiendo el resultado óptimo.

Las series de entropía negativa enumeradas ponen en orden no sólo la sucesión de los procesos físicos, sino también la de su reordenamiento. Por eso, la información genética en la técnica incluye no sólo comprobaciones del tipo "si la corriente pasa a través de un conductor, éste se calienta y brilla...", sino también comprobaciones del tipo "la luz radiada al pasar la corriente depende de la elección del metal para el conductor del modo siguiente..." Semejantes comprobaciones permiten pasar, en las lámparas de incandescencia, de un metal a otro, calcular resultados y elegir variantes nuevas, más perfectas. Lo que llamamos información genética incluye asimismo comprobaciones del tipo "la eficacia de un flujo luminoso está en tal y tal función del paso a esquemas nuevos por principio de inducción de la luz". Semejante información permite pronosticar (o sea, encontrar el efecto) y planificar (o sea, determinar la variante óptima entre las pronosticadas) el paso, digamos, de las lámparas de incandescencia a las de descarga luminiscente.

Si, además de crecer el nivel técnico de producción (merced a la aproximación al esquema ideal), se acelera el progreso técnico (merced al paso a un nuevo esquema físico), aumenta también el volumen de información necesaria para tal dinámica más alta. Trátase de la información que asegura la elección del resultado óptimo de los ciclos de producción. El sistema de aparatos de control y regulación proporciona la información sobre el cambio de velocidades, tensiones, presiones, temperaturas, composición de materia prima, parámetros de artículos, etc. Este sistema contiene asimismo información sobre normas y parámetros que no deben alterarse. Los aparatos de control y regulación reciben señales sobre la alteración del régimen normal o, en general, sobre la infracción de los parámetros normativos. Estas señales provocan automáticamente el acercamiento de los parámetros a las normas. Pero aquí no hay información sobre los resultados del cambio de régimen ni elección de cambios óptimos. El papel de medida óptima lo desempeña un régimen invariable, parámetros inmutables. La regulación acerca los parámetros reales a los inmutables no porque sean mejores, sino porque corresponden al proceso tecnológico establecido. En este caso, la información es estática.

La información dinámica (sobre los resultados del cambio del régimen y de proceso tecnológico) corresponde a la solución de problemas minimax, a la obtención de variantes óptimas. En una producción dinámica, con cambio prácticamente ininterrumpido del nivel de la técnica, el obtener tal información es una tarea constante de producción. La fábrica no sólo debe producir ininterrumpidamente, sino también acumular sin cesar información sobre los métodos óptimos de paso a un nivel nuevo de la productividad del trabajo. Huelga decir que un torrente mayor aún de tal información saldrá de las oficinas de diseño, laboratorios tecnológicos e institutos de proyección.

La producción de información dinámica, la producción de progreso, convirtiéndose en un componente cada vez más importante de la industria, puede igualarse, para el año

2000, a las ramas fundamentales: energética, transporte, industria de construcciones mecánicas, etc. ¿De qué se compone la información dinámica?

Como queda dicho, de ella forman parte los parámetros de nuevos diseños y procesos tecnológicos; los resultados calculados y la dinámica del paso a la técnica nueva y los esquemas ideales nuevas; así como la determinación de los diseños y procesos tecnológicos óptimos y de los esquemas de la dinámica óptima de su implantación.

Ante todo, esta información comprende lo que suele llamarse *know how* (sé cómo). Por lo común, este término designa los datos sobre las condiciones y las mejores vías de asimilación de los nuevos métodos tecnológicos. La acumulación de *know how* es resultado de una experimentación prolongada, de pruebas fabriles, de experiencia de ambientación, de experiencia del primer período posterior a la explotación de prueba, etc. Pero a la expresión *know how* puede imprimírsele un sentido más general: "sé cómo pasar a una productividad del trabajo más alta", o sea, pueden incluirse en *know how* los parámetros mismos de nuevos diseños y el recetario tecnológico.

Existe asimismo otro torrente de información dinámica. La elevación de la productividad del trabajo conduce a que se amplía el volumen de la producción, se realiza la reproducción ampliada y se dominan nuevos recursos de materia prima y energéticos. El progreso técnico y, en medida mayor aún, el progreso científico y el aceleramiento del progreso técnico aportan directamente los mismos resultados. La reproducción ampliada requiere mayores recursos de materia prima. Esto es posible sólo con una rápida acumulación de datos sobre nuevas bases energéticas, de materia prima y de alimentos. El quid del asunto estriba en dónde puede obtenerse hulla, petróleo, gas, uranio, torio, hierro, materias primas químicas y otras. Por analogía con *know how*, esta información puede llamarse *know where* (sé dónde). Actualmente se necesita un colosal volumen de tales datos. En el contexto de la elevación acelerada de la productividad del

trabajo y del rápido crecimiento de la población se acelera asimismo la incorporación de las riquezas naturales a la producción. En este sentido, el siglo atómico se caracteriza por el agotamiento de los recursos (que es mayormente un *agotamiento relativo)* y por la necesidad de pasar a la potenciación de yacimientos menos cómodos, que son las más de las veces menos concentrados. Su explotación, por lo común, exige grandes gastos relativos de energía. Este paso se compensa con el abaratamiento de la energía. En los próximos decenios será muy importante una forma más de agotamiento relativo: el paso a yacimientos menos explorados, menos conocidos. En este sentido, el problema del agotamiento de los recursos es un problema de información sobre nuevos recursos. Con esto se vincula, precisamente, la transformación comenzada ya de la información de "sé dónde" en una rama muy grande, por su envergadura y gastos, de la producción de la información. A semejanza de la información de "sé cómo", la información de "sé dónde" (las exploraciones geológicas, agrológicas, hidrológicas y geográficas y la elaboración de las respectivas disciplinas teóricas) se convierte en una rama del balance de trabajo, confrontable con los sectores principales de la economía nacional. Por eso, tal información, lo mismo que la de "sé cómo", posee una parte del trabajo homogéneo distribuido, materializado en ella.

Intentemos desarrollar y concretar un tanto estas someras notas sobre la información en el siglo atómico. Ante todo conviene decir algunas palabras sobre la acción recíproca entre la información de "sé cómo" y la de "sé dónde". Esta interacción es bastante complicada, incluyendo a veces una retroacción. La información sobre los recursos (información de "sé dónde") puede constituir un argumento en favor de modificar la política técnica, de cambiar la tecnología y las respectivas búsquedas de la nueva información de "sé cómo". Pero las más de las veces la información de "sé cómo" desempeña el papel de variable independiente.

La proximidad de los conceptos de información y de entropía negativa se ve muy claramente en "sé cómo" y en

"sé dónde". En ambos casos, la información, incluso imprimiéndole un sentido tradicional, es información sobre la entropía negativa, sobre cierto ordenamiento macroscópico. La energía nuclear, verbigracia, es por su origen, por su naturaleza física, energía de enlace de los nucleones en el núcleo atómico. La existencia de los núcleos atómicos, la unificación de las partículas elementales en estas estructuras más complicadas constituye cierta entropía negativa, cierto ordenamiento del ser. La propia fisión de los núcleos, siendo un proceso entrópico, crea, no obstante, formas intermedias de entropía negativa, ante todo, saltos térmicos.

Todo sistema energético utiliza cierta reserva de entropía negativa. La energética clásica emplea, en última instancia, la diferencia entre la temperatura del Sol y la de la Tierra. La energética no clásica se vale de la diferencia energética entre los grados de concentración de energía en los distintos núcleos, de las diferencias en el "factor estructural" y en la energía específica de enlace. Estas diferencias, estas formas de entropía negativa cristalizaron al aparecer los distintos elementos del sisitema periódico.

En una determinada etapa, la información sobre las reacciones nucleares incluyó los datos sobre la transformación de torio en uranio-233, lo cual permite construir reactores autorregeneradores sobre la base del torio. Este incremento de la infomación de "sé cómo" suscitó interés por evaluar y precisar las reservas de torio. El descubrimiento de grandes reservas de torio estimuló las investigaciones subsiguientes y la construcción de autorregeneradores experimentales sobre la base del torio. La posibilidad de su empleo amplía el programa de búsquedas ulteriores de torio y elimina en medida considerable el problema del agotamiento de las reservas de uranio y, a largo plazo, todo el problema del agotamiento de los recursos de combustible nuclear.

Las reacciones termonucleares cambiarían de modo aún más radical el problema de estos recursos. Para la fusión termonuclear se necesita deuterio. En este caso no se plantea siquiera el problema de "sé dónde". El agua corriente con-

tiene el deuterio en una concentración relativamente constante (una parte por cada siete mil partes o, más o menos, 0,014%).

En el presente, o más bien en los próximos decenios, merced al abaratamiento de la energía de las centrales atomoeléctricas, pueden disminuir sustancialmente los gastos absolutos para la exploración de nuevos recursos de combustible que necesitan las centrales "clásicas". Las centrales clásicas que utilizan yacimientos ricos y fácilmente accesibles de combustible competirán felizmente durante cierto tiempo con las centrales atómicas. Pero, a juzgar por todo, las nuevas centrales resultarán no rentables en zonas donde su construcción requiere trabajos previos de prospección.

Esto no disminuirá el volumen de información de "sé dónde" pero cambiará la dirección de sus torrentes. La energética atómica ampliará las búsquedas de materias primas. Claro que en este caso también será posible renunciar a las búsquedas de recursos dudosos en el sentido de su ubicación, si esta materia prima puede sustituirse con otra. La química se desarrolla en una dirección que promete obtener, en última instancia, todo lo que quiera de todo lo que haya o, al menos, saber cómo hacerlo. De todas las variantes, cuyo número crece con rapidez, se eligirán y se eligen ya actualmente las que garanticen gastos mínimos. Por lo visto, estas variantes abarcarán en calidad de materia prima inicial a todos o casi a todos los elementos del sistema periódico.

Se utilizarán además, muchos yacimientos pobres. Como se ha dicho ya, el problema del agotamiento relativo de los recursos de materias primas es un problema energético. La potenciación de los yacimientos pobres es un paso a mayores gastos de energía para obtener la misma cantidad de materia prima. El estudio del subsuelo para buscar la mayoría de los minerales que contiene, estudio que se extiende a todas las zonas, modifica el estilo de la información de "sé dónde", aproximándola a los conocimientos fundamentales de las ciencias naturales.

Aquí tropezamos con una de las más importantes parti-

cularidades de la ciencia de fines del siglo XX. La energética del siglo atómico utiliza los procesos que se operan en escalas nucleares. La electrónica cuántica se vale de frecuencias que aproximan al investigador a los campos tiempo-espaciales mínimos. La cibernética dista mucho aún de las escalas nucleares, pero utiliza ya procesos que se producen en millonésimas de segundo, y empleará los procesos que se operan en fracciones mil millonésimas. Cuanto más reducidos son los campos tiempo-espaciales en que penetra el investigador, cuanto menores son las células tiempo-espaciales en que encuentra y establece la entropía negativa, tanto más se aproxima a los problemas que a estas alturas figuran entre los fundamentales.

Pero existe también otro aspecto del problema. Las regularidades macroscópicas que determinan la distribución de los elementos de la tabla de Mendeléiev en la corteza terrestre, están vinculadas con las regularidades de la química cósmica, por una parte, y con las leyes del micromundo, por otra. Al estudiar detalladamente el subsuelo (incluyendo la distribución de los elementos raros), puntos de los yacimientos aislados se unen en líneas, franjas y zonas, surgiendo un cuadro geoquímico de distribución de minerales, ligado estrechamente con el cuadro de su génesis. Pero los problemas de la génesis de las moléculas y los retículos cristalinos conducen al investigador a los problemas fundamentales del ser.

Entre los problemas principales de fines del siglo XX figura el alimentario. Se podría decir que es el problema número uno, si esto no se hubiera referido también a los problemas de la energética, la tecnología, las comunicaciones y a otros muchos. Aprovechando la ocasión señalemos (para volver más tarde a ello) la completa inutilidad de la atribución de títulos jerárquicos a algunos elementos de una transformación profundamente *compleja* de la cual se trata al hablar del siglo atómico. En particular, se debe subrayar la ligazón existente entre la energética atómica y el problema alimentario. Este último es un problema energético, ante todo, por-

que la producción de abonos minerales es una producción que requiere gran cantidad de energía. El riego artificial también exige grandes gastos de energía. Anotemos de paso que la obtención y el transporte de agua dulce es un problema energético. Un gran abaratamiento de la energía eléctrica a fines del siglo permitirá duplicar, como mínimo, el rendimiento por hectárea merced al empleo de abonos artificiales, ampliar las superficies de siembra a costa de la agricultura de regadío y dotar de agua dulce los núcleos poblados alejados de los ríos.

Volvamos al problema del agotamiento relativo de los recursos naturales en conjunto, al problema del paso a concentraciones menores en el marco de la materia prima dada, de la forma dada de utilización del suelo o del tipo dado de energía. La extracción de minerales menos ricos, la explotación de estratos más profundos y menos potentes de hulla, el cultivo de tierras menos fértiles, la construcción de hidrocentrales en desniveles bajos y las manifestaciones análogas del agotamiento relativo de los recursos aumentan las inversiones y los gastos de explotación relativos. Este proceso se cubrirá y a veces se eliminará por completo con ayuda del progreso técnico y el mejoramiento de suelos. Pero un aspecto ligado estrechamente a la producción de información merece especial atención. Trátase del *precio* de la información de "sé cómo" y la de "sé dónde".

Para los suelos y los recursos hidráulicos, la información de "sé dónde" no tiene importancia decisiva. La importancia de esta información crece si se trata de minerales, y es mayor todavía en cuanto a la hulla, el petróleo y el gas. Por lo visto, hasta el año 2000 y probablemente más tarde aún, la disminución de los gastos relativos para la información de "sé cómo" irá acompañada del aumento de los gastos relativos para la información de "sé dónde". En última instancia, esto se explica por la diferencia cardinal existente entre estas dos formas de información.

La información sobre los parámetros, operaciones y régimen de trabajo de una máquina nueva siempre tiene como

punto de partida las condiciones iniciales y el programa que se conocen con relativa exactitud. Se nos dan de antemano las finalidades del proceso tecnológico y algún espectro de posibles tipos de materia prima, y buscamos el más eficiente de los esquemas admisibles por principio, la solución constructiva óptima entre las posibles, y la tecnología óptima entre sus variantes. Es la información sobre el futuro, la información previsional sobre el régimen, el diseño y las operaciones tecnológicas óptimos. Esta información viene complementada con el experimento, las pruebas y la experiencia de explotación. Pero la información de "sé cómo" siempre se estructura según el esquema siguiente: "si se dan los parámetros tales, el aparato, la máquina, el agregado, el taller o la fábrica funcionarán de tal manera". Semejante esquema puede realizarse con ayuda del dispositivo cibernético que, al recibir en el programa ciertos parámetros de partida, reelaborará la información, obtendrá las variantes de los índices finales, los confrontará y encontrará la variante óptima. Así pues, la información de "sé cómo" puede basarse en la retroacción no empírica, realizada en breves lapsos de tiempo.

Es distinto el esquema en el caso de la información de "sé dónde". En este caso no existen ni programa de tratamiento de la información ni datos de partida exactos. La distribución de los minerales en la corteza terrestre es resultado de la evolución geológica y geoquímica, de la cual tenemos muy pocos conocimientos. No conocemos el estado inicial de la Tierra, ni la actual estructura geoquímica y geológica de su corteza con una pormenorización que nos permita obtener datos precisos sobre las concentraciones de los minerales. La información sobre estas concentraciones no es del todo empírica, pues existen suficientes datos sobre las regularidades de los yacimientos conjuntos de minerales y sobre la estructura de la corteza terrestre. No está excluido que algún día será posible modelar la evolución geológica y geoquímica, calcular las coordenadas de los yacimientos, las reservas y las características de los minerales. Iremos

aproximándonos y un buen día llegaremos a ello. Pero este es un pronóstico a plazo muy largo.

El diseñador, tecnólogo o probador de la máquina, buscando la información de "sé cómo" sobre sus parámetros y régimen óptimos, puede distar mucho de la razón suprema laplaceana, que conoce las coordenadas y las velocidades de las partículas del Universo y que predice todos los detalles de su futuro. Puede disponer sólo de datos sobre miles de detalles, miles de grados de libertad y miles de parámetros, de los que se compone la información de partida. Y con esta información muy limitada obtendrá, con ayuda de millones de operaciones lógico-matemáticas, los datos exactos sobre los parámetros óptimos del proceso de producción. En una situación distinta se encuentran el geoquímico o el geólogo, que quiere obtener la información de "sé dónde". Debe acercarse mucho más a la razón suprema laplaceana, con la particularidad de que esta última conoce ya cómo están distribuidos ahora los átomos del Universo, mientras que el geólogo sólo está por conocer esta distribución, cierto es que no en todo el Universo, sino nada más que en la Tierra. Este problema es soluble en principio; podemos imaginarnos una computadora que escuche información sobre los resultados de las exploraciones e indique con precisión las coordenadas más probables de los yacimientos de todos los minerales necesarios. Pero mientras tanto, la información de "sé dónde" es una información sumamente empírica, se basa en gastos laborales muy grandes y cuesta muy caro. Una tarea del progreso técnico en los próximos decenios es sustituir en parte la información de "sé dónde" por la de "sé cómo". Un ejemplo de tal sustitución en nuestro siglo es el paso del uranio al torio. Otro ejemplo, que posiblemente rebasa el marco de nuestro siglo, son las reacciones termonucleares y la utilización del deuterio. En estos casos, el paso a un nuevo esquema técnico (a veces, a un nuevo ciclo físico) permite valerse de recursos de los cuales conocemos más y a los cuales no amenaza directamente el agotamiento relativo.

Así pues, el agotamiento relativo se expresa las más de las veces en el aumento del precio de la información de "sé dónde". Se expresa en el aumento del precio de la información por unidad de peso o kilovatio-hora de energía. En cambio, el precio de la unidad de información de "sé cómo" disminuirá. Pero crecerá el volumen de la información. Esta última, en cuanto a su precio, o sea, al trabajo materializado en ella, puede ya confrontarse con las ramas fundamentales de la economía nacional, formando parte del esquema principal de la división del trabajo, de la estructura principal de la producción.

Pasemos al problema de esta estructura y su dinámica.

Los dos torrentes de información citados –"sé cómo" y "sé dónde"– no contestan a una cuestión cardinal. A la cuestión de "para qué". ¿Para qué se necesita obtener información, pasar a nuevos diseños y procesos, buscar y potenciar nuevas fuentes y recursos de energía y materias primas? No es en modo alguno una cuestión metafísica. Es un *componente económico* muy importante (prácticamente importante) del problema del sentido de la vida del género humano, del sentido de su evolución, del sentido de la civilización y el progreso. En el último capítulo del presente libro abordaremos más de cerca este problema más general. Ahora necesitamos una respuesta a la pregunta de "¿para qué?" conforme al ritmo y las direcciones del progreso tecnocientífico. Sin eso no se puede hablar de optimización de la producción ni de su dinámica óptima.

Al tratarse de un diseño óptimo o un proceso tecnológico óptimo, es decir, del sistema de magnitudes geométricas, físicas, técnicas y económicas (distancias, intervalos del tiempo, masas, energías, velocidades, aceleraciones, tensiones, temperaturas, presiones, gastos relativos, etc.), ninguna de estas magnitudes figura como norma objetiva, cuyo valor máximo espera lograr el diseñador. El valor máximo lo debe adquirir cierta función de resumen de estas magnitudes. Al valor máximo de esta función corresponden los valores máximos y la tecnología óptima de estas magnitudes. La pregunta

"¿para qué?", de la cual es inseparable la actividad laboral, racional, del hombre, se resuelve en este caso como problema variable de encontrar la solución máxima o mínima de la norma a que se tiende. Un nuevo diseño se introduce para obtener el rendimiento máximo con los gastos previstos, o la velocidad máxima (aceleración, capacidad de carga) por unidad de potencia, etc. En forma general, la norma a que se tiende es el acrecentamiento de la entropía negativa en las condiciones del acrecentamiento compensador de la entropía.

Tratemos de plantear la pregunta de "¿para qué?" conforme a la economía nacional en conjunto. Parece lógico considerar el consumo como finalidad de la producción y tomar el nivel de consumo como función a cuyo valor máximo corresponde la estructura óptima de la producción. Pero no se puede tratar únicamente de alimentos, vivienda y, en general, de lo que se llama consumo improductivo. La estructura de la producción, que garantice el nivel máximo de satisfacción de dichas necesidades a expensas de inversiones mínimas en la energética, la metalurgia y la industria de construcciones mecánicas, aseguraría un alto nivel de consumo por un tiempo muy breve, por eso no puede pretender al título de estructura óptima. Por consiguiente, es necesario tomar el nivel general de consumo, comprendido el consumo productivo de materias primas, energía y máquinas. En este caso, el consumo se convierte en seudónimo de la producción, y la estructura del mismo en seudónimo de la estructura de la producción, lo cual significa que necesitamos volver a buscar una magnitud cuyo valor máximo equivalga a la correlación óptima de los gastos para los distintos sectores de la economía nacional, a la estructura óptima de esta última. Como norma objetiva de la economía nacional puede figurar la productividad del trabajo social. La producción, cuya estructura asegura una alta productividad del trabajo, excluye la disminución del consumo después de un breve período de abundancia; incluye ramas suficientemente potentes: energética, metalurgia, industrias de construcciones mecánicas y de extracción para garantizar una prolongada abun-

dancia estable. Al mismo tiempo, la alta productividad del trabajo requiere un alto nivel de consumo personal. Por lo visto, la alta productividad del trabajo, garantizándose la conservación del nivel técnico de producción, puede constituir la función objetiva de la producción: al nivel máximo de productividad del trabajo social corresponde la estructura óptima de la producción.

Pero ¿puede un nivel inmutable de productividad del trabajo constituir el objetivo de la producción? ¿Acaso satisfacería al género humano esta finalidad? Incluso el más alto nivel de productividad del trabajo, si no se eleva más, deja de satisfacer al hombre después de que en vida de una generación hayan cambiado las condiciones y el efecto de su actividad productora. Actualmente, la norma a que tiende la producción debe incluir, además de la medida de la productividad del trabajo, la de acrecentamiento de esta magnitud, el índice de velocidad del progreso técnico y económico. Para la estructura de la economía nacional esto significa la incorporación de una nueva y potente rama: la producción de información tecnológica y geológico-geográfica.

Sin embargo, para el hombre de la segunda mitad del siglo XX esto tampoco es suficiente. El es contemporáneo no sólo de la revolución técnica, sino también de la revolución científica que, además, es una revolución que desde mediados del siglo conduce al *aceleramiento* del progreso. Los índices de la productividad del trabajo y de la velocidad de su incremento deben completarse con el índice de su aceleramiento. La norma objetiva de la producción estacionaria y cuasiestacionaria (que se desarrollaba lentamente, con cambios imperceptibles para la generación) podía ser el nivel de la riqueza social. La norma objetiva de la producción que se desarrolla de una manera regular (con aceleraciones episódicas) incluye la velocidad del progreso. La norma objetiva de la producción en el siglo atómico es el aceleramiento del progreso.

Así pués, la respuesta a la cuestión de la norma objetiva de la producción y su dinámica apunta a cierta magnitud

cuyos componentes son la productividad del trabajo social, la velocidad de su acrecentamiento y la aceleración del acrecentamiento. No vamos a precisar aquí de qué modo entran dichos componentes en la norma objetiva de la producción: el *índice económico fundamental.* La finalidad de cada cambio de la estructura de las inversiones, de la de la renta nacional y de la del consumo consiste en acercar este índice al valor máximo. En particular, esto constituye la finalidad de las inversiones en la ciencia, en el sistema de instituciones de diseño, tecnológicas y de proyección (información de "sé cómo") y en las exploraciones (información de "sé dónde").

Vemos que la pregunta "¿para qué?" referida a la producción y su dinámica constituye el programa de otro torrente de información. Se necesita obtener información sobre el efecto de cada acción económica y de cada redistribución de los esfuerzos y recursos intelectuales y materiales. Hay que contestar a lo siguiente: ¿qué proporciona cada acción?, ¿en qué medida eleva el nivel de vida del hombre?, ¿en qué medida aumenta su poder sobre la naturaleza? y ¿en qué medida conduce al incremento del ritmo del progreso? En otros términos: ¿cuál es el efecto de cada acción expresado en el incremento máximo del índice económico fundamental? Al torrente de información tecnocientífica ("sé cómo") y al torrente de información sobre los recursos naturales ("sé dónde") se suma el torrente de información económica ("sé para qué").

Es imposible sobrestimar la importancia de esta última. Trátase del sentido del progreso científico y técnico que se caracteriza actualmente por el paso a la energética atómica. De ahí que nuestro siglo se llame siglo atómico. El siglo atómico se distingue por una tecnología nueva, por el empleo de la electrónica cuántica y la dirección de la evolución de los organismos vivos. Se caracteriza por un gran cambio en el carácter del trabajo. El siglo atómico puede llamarse siglo de la cibernética. Es el siglo de la información. Pero las definiciones del siglo atómico deben completarse con una definición fundamental de la finalidad y el efecto de todas las

tendencias tecnocientíficas enumeradas. Es la información económica que permite optimizar la estructura de la producción. En el siglo atómico, las posibilidades científicas y técnicas son tan grandes que el problema de su realización óptima ha pasado a ser el problema más cardinal para la humanidad. Por eso, el siglo atómico es el siglo de la economía.

La optimización del empleo de las tendencias tecnocientíficas es una tarea económica y econométrica. Esta tarea consiste en lo siguiente. Periódicamente, con ayuda de computadoras y tomando en consideración lo que pueden dar las tendencias tecnocientíficas esbozadas, se determina la modificación óptima de la estructura de la producción y el consumo. Además, se tiene presente cómo influirán en la estructura el paso a la energía atómica, el desarrollo de nueva tecnología y la aplicación de nuevas máquinas electrónicas; en qué medida deben modificarse los presupuestos familiares, cuáles son las nuevas necesidades culturales que deben pasar a formar parte de estos presupuestos y a qué ritmo se debe desarrollar las investigaciones tecnocientíficas, las exploraciones geológicas y los trabajos experimentales y teóricos en el dominio de los problemas fundamentales. De numerosas variantes se elige la óptima, que asegure el valor máximo del índice económico fundamental, es decir, del nivel de la productividad del trabajo, la velocidad y la aceleración de su crecimiento. Si se imagina un espacio n-dimensional, donde cada punto se determina por n coordenadas, se puede considerar que tal punto es la descripción de la estructura de la producción: las coordenadas del punto son los volúmenes de cada una de las n ramas de producción proyectadas. Se puede introducir una dimensión más –el tiempo– y obtener el espacio $(n+1)$-dimensional de la dinámica de las estructuras. El paso de un punto a otro, que tiene coordenadas distintas, es el paso a una nueva estructura, el cambio de la estructura de la producción. Si unimos los distintos puntos, correspondientes a varios años próximos, obtenemos una curva que describe la dinámica de la estructura para estos años.

Sin tales curvas, sin los pronósticos para los años próximos no se puede determinar las tendencias de la producción, que llevan al crecimiento de la productividad del trabajo, a la aceleración de este crecimiento. Por eso, para la optimización *dinámica* (optimización cuya finalidad es el crecimiento no sólo del nivel sino también de la velocidad: la aceleración de la productividad del trabajo social que tenga en cuenta las *tendencias* y aspire no sólo al estado óptimo sino también a la *dinámica* óptima), los pronósticos son un método imprescindible.

Pero como queda dicho ya, los pronósticos que parten de los cambios en la ciencia no pueden ser terminantes. Existe un nexo bastante evidente entre la amplitud de los problemas científicos y el carácter indeterminado del efecto económico de su solución. Los ensayos de control en los laboratorios fabriles ofrecen el resultado preciso: la observancia de las normas fijadas. Las búsquedas en el dominio del diseño y la tecnología de nuevas máquinas y procesos acercan la técnica a los ciclos ideales; pero la medida del acercamiento no puede determinarse de antemano con exactitud. Las investigaciones científicas mismas provocan, sin duda, el aceleramiento del progreso técnico, pero los resultados concretos de cada investigación no se aclaran más que de manera retrospectiva.

El carácter indeterminado es mayor al tratarse de las investigaciones básicas. En este caso, el experimento no sólo puede conducir a una respuesta inesperada a la pregunta hecha a la naturaleza, sino también demostrar la insensatez de la pregunta. En general, como queda dicho ya, puede considerarse que cuanto más dinámico es el efecto de la investigación, cuanto más alta, por orden, es la derivada del nivel de la productividad del trabajo (velocidad, aceleración, velocidad de la aceleración) en que influye esta investigación, cuanto más profundo es este efecto, tanto mayor es su indeterminación. Pero precisamente estos efectos (nivel, velocidad, aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo) son componentes del índice económico fundamental.

De ahí la inevitabilidad de que la optimización de la estructura económica pase por muchas etapas. Cada pronóstico dimana de una comprobación local. Pero en virtud del carácter vago de los resultados de las tendencias tecnocientíficas, dentro de cierto tiempo se debe volver a aquilatar estas tendencias, pronosticar sus resultados, confrontar distintas variantes y elegir la variante óptima. La ciencia contemporánea, capaz de lograr que el ascenso de la productividad del trabajo sea ininterrumpido e incluso que se acelere constantemente, que obliga a introducir en la norma objetiva de las derivadas del nivel de la productividad del trabajo, exige que la optimización pase por muchas etapas (o sea prácticamente ininterrumpida).

Cada nueva corrección de los pronósticos y de la dinámica óptima de la producción implicará cierto conjunto de cambios en la energética, la tecnología, el transporte, las comunicaciones, la información, la ciencia, el consumo y la cultura, cambios sincronizados a cierto plazo único. La optimización contemporánea de la producción es una optimización compleja que se desenvuelve en grandes círculos concéntricos, calculados a largo plazo, de cambios previsibles, mutuamente vinculados y sincronizados aproximadamente a un mismo tiempo convencional. Actualmente, este círculo comprende la *materialización práctica de la ciencia no clásica*, es decir, la energética atómica, como componente predominante del balance energético y otros pronósticos.

Para concluir, unas cuantas palabras sobre la causa principal del porqué se convierte la información en una rama fundamental de la economía nacional. Esta causa radica en el carácter de la ciencia *no clásica*, en la tendencia propia de ella de buscar y establecer la armonía, la entropía negativa, el ordenamiento en el micromundo. De esto se ha hablado ya. La estadística clásica hace caso omiso de los microobjetos y microprocesos individuales. Respectivamente, lo que convierte la energética y la tecnología en algo ordenado tiene en los marcos clásicos un carácter esencialmente macroscópico. Tomemos una serie de procesos de producción cada uno

de los cuales determina el carácter del proceso que le sigue. El carbón sacado a la superficie se carga en vagones y se envía a la central eléctrica. La entropía negativa –concentración de la energía química en el carbón– se transforma en entropía negativa de la diferencia térmica entre la caldera y el condensador de la central y, más tarde, en diferencia de los potenciales eléctricos. La energía se desplaza por una línea de alto voltaje y junto con ella la entropía negativa, que determina la dirección de los procesos tecnológicos en las empresas consumidoras. La ley de la conservación de la energía no garantiza, por cierto, más que la equivalencia de los valores iniciales y finales de la energía. No es la energía, sino la entropía negativa, el ordenamiento y las diferencias los que determinan los procesos que se operan en cada fase del paso de la energía de la mina al consumidor. En un artículo muy interesante *¿Por qué tenemos calefacción de invierno?*, Robert Emden escribe: "Siendo estudiante, leí con provecho el librito de F. Wald, titulado *La Señora del mundo y su sombra*. Se tenían en cuenta la energía y la entropía. Al avanzar en mi conocimiento, me pareció que han cambiado de lugar. En la gigantesca fábrica de los procesos naturales, el principio de la entropía ocupa el puesto de director, que dicta la manera y el método de llevar a cabo todos los negocios, mientras que el principio de la energía desempeña sólo el papel de tenedor de libros, que equilibra el debe y el haber.[18]"

En la fábrica de los procesos artificiales, o sea, en la fábrica en el sentido directo de la palabra, esta situación es particularmente clara. El curso de los procesos lo dirige la ley de la entropía. Esta ley obliga al calor a pasar del fogón al condensador, convirtiéndose en trabajo mecánico. La entropía en un sentido más amplio dirige también otros procesos. Su acción depende de las diferencias de partida, de la entropía negativa. Esta última pasa de un proceso a otro, y este paso convierte la producción en algo ordenado.

[18] R. Emden. *Why do we have Winter Heating?* In: *Nature*, vol. 141, N° 3577, May 21, 1938, p. 908.

En la física clásica figura la entropía negativa macroscópica. En las aplicaciones de la física clásica, el carácter de los procesos de producción se determina por el ordenamiento macroscópico del ser, por dos magnitudes macroscópicas de la masa y la energía. Por eso, todas las formas de la entropía negativa clásica están ligadas a grandes volúmenes de energía transmitida o masas trasladadas. En el ejemplo arriba mencionado, los procesos de producción se vinculan mutuamente mediante la saca de gran cantidad de hulla a la superficie y su transporte por ferrocarril, y mediante la transmisión por cable de grandes cantidades de energía.

Para asegurar el ordenamiento de los procesos de producción sin semejante desplazamiento de masas y energías considerables puede utilizarse la información, que en la producción "clásica" siempre se transmite a través del hombre. En la producción "no clásica", la información puede transmitirse automáticamente. Esto significa que en la cadena de los procesos de producción interconexos se incluyen procesos que transladan una energía muy pequeña y una entropía negativa muy grande. Puede servir de ejemplo el gobierno de la producción por relés, que conectan circuitos de corriente de fuerza, a través de servomotores, etc. Ordenes más complicados requieren que los desplazamientos de masas y energías sean mínimos, y el volumen de información muy grande.

En este sentido, lo mismo que en otros muchos, un modelo para la técnica es el cerebro del hombre. George Thomson cita el siguiente ejemplo. Un hombre distribuyó en cierto orden una baraja de cartas. Cambió muy sustancialmente la entropía del sistema de 52 cartas, que pasó del completo desorden al ordenamiento acabado. En este caso, el cerebro gasta menos energía que la que se desprende al quemarse una molécula de parafina: $6{,}4 \cdot 10^{-12}$ ergios[19].

El empleo cada vez mayor de procesos que en cierto grado,

---

[19] Véase G. Thomson. *The Foreseeable Future.* Cambridge, 1955, p. 22.

por ahora pequeño, se aproximan a tal correlación entre la energía y la entropía negativa será una línea muy importante del progreso a fines del siglo XX. Trátase de los "inspiradores", de los traslados de pequeñas energías inspiradoras de sucesos en que participan grandes energías. Con tal inspiración, el proceso irreductible a la transmisión de energía (el habla, la radioseñal, la fotoseñal, etc.) provoca los procesos propiamente energéticos. El esquema de este proceso se plasma ("se codifica") en una dimensión distinta, en fenómenos de naturaleza física distinta, en escalas espaciales y temporales absolutamente distintas, para convertirse luego en "inspirador" de los acontecimientos programados.

Para que tales procesos, que transmiten una gran entropía negativa con pequeños desplazamientos de energía, puedan transmitir información sobre esquemas muy complejos había que utilizar la inestabilidad dinámica de los electrones en el vacío y en retículos cristalinos, o sea, trasladar la intervención activa en los procesos de la naturaleza y la investigación de los mismos a campos tiempo-espaciales muy pequeños. Esto permitió, precisamente, sustituir en amplia escala la transmisión de energía y masas por la transmisión de información. Ahora forma parte del contenido de la información no sólo la conducta de los cuerpos macroscópicos, sino también la de las partículas por separado. Hemos dicho ya que la indeterminación cuántica de esta conducta tiene poco de común con la indeterminación clásica del comportamiento de distintas partículas en conjuntos estadísticos.

La entropía negativa, el ordenamiento no sólo del macromundo, sino también del micromundo, pasa a ser una finalidad directa y evidente de la producción. Tal comprobación nos permite explicar un malentendido que se repite frecuentemente.

Uno de los principales pronósticos expuestos en el presente libro es el crecimiento incesante de la productividad del trabajo social y, más aún, la aceleración ininterrumpida de este crecimiento. ¿Cuánto tiempo puede durar esta aceleración? Si la construcción de casas y la producción de máqui-

nas, comestibles, ropa, televisores, etc. sigue creciendo con aceleración durante un tiempo bastante largo, el área limitada de la superficie terrestre no dará cabida a los artículos, y el Universo verá un torrente de mercancías de todo género que se volcará al espacio con una aceleración creciente. Sólo la ley de la conservación de la materia no permitirá que se cree tal situación. Este cuadro, a pesar de lo exagerado, refleja la grave dificultad del pronóstico de la economía dinámica. Algunos economistas suponen que el crecimiento de los potenciales económicos puede remplazarse por un período de estado estacionario. En cuanto a la civilización postatómica, o sea, al período posterior al siglo atómico, en los capítulos siguientes del presente libro figura un pronóstico distinto. El siglo atómico se caracteriza por una aceleración ininterrumpida, mientras que el postatómico se caracterizará por un crecimiento incesante de la aceleración misma, por la tercera derivada (no igual a cero) de la productividad del trabajo.

Por lo que se refiere al fantasma del torrente universal de artículos, conviene recordar que la producción que se desarrolla en la Tierra es una producción de entropía negativa, es el ordenamiento del mundo (del macromundo y el micromundo). El número de combinaciones ordenadas de las partículas que componen la hidrosfera, la litosfera, la atmósfera, etc., o sea los objetos inmediatos de la actividad transformadora del hombre, es prácticamente infinito. Respectivamente, es infinito el número de las condiciones iniciales que determinan la estructura y la dinámica de las noozonas, ante todo de la hidrosfera y la litosfera racionalmente transformadas o, en otros términos, de la noosfera. Hemos visto que este concepto de V. Vernadski está generalizándose: la transformación racional se extiende a campos muy distantes de la Tierra, la noosfera se separó de ella, las combinaciones ordenadas de partículas y ondas (comprendidas las ondas de las transmisoras, que atraviesan el Cosmos) se expanden a distancias astronómicas y, por otra parte, el ordenamiento entrópico-negativo del ser engloba no sólo nuevas capas con-

céntricas que circundan la Tierra, sino también nuevas zonas de espectros y nuevos tipos de elementos discretos de la sustancia. El crecimiento de la entropía negativa está limitado sólo por la escala astronómica del tiempo, esto es, puede ser prácticamente infinito incluso con la aceleración y el crecimiento de la aceleración. Este crecimiento abarca al micromundo, y aquí el ordenamiento de los cromosomas mediante la irradiación "de tiro de puntería" o los haces coherentes en bandas óptica, ultravioleta y de rayos X testimonian la inagotabilidad del proceso. Volvemos, pues, a la conexión estudiada ya entre el optimismo y la infinidad del conocimiento y de la transformación del mundo.

Se debe señalar que la idea moderna de la información amplía el concepto de noosfera en otro aspecto más en comparación con el viejo concepto. Este último tenía un carácter de comprobación: una parte de la superficie y el subsuelo de la Tierra refleja en su estructura la influencia que la razón humana ha ejercido durante muchos años. Ahora, el concepto de noosfera tiene también otro sentido, previsional; en la vida contemporánea ha adquirido importancia esencial la información sobre la noosfera eventual, sobre las modificaciones previsibles de la estructura, la superficie y el subsuelo de la Tierra como resultado de los *proyectos* económicos. Estas modificaciones deben crear en efecto las noozonas, zonas de la razón, estructuras calculadas de antemano y óptimas para el hombre, en la atmósfera, la hidrosfera y la litosfera. Semejantes cálculos se convierten en elemento importante de la información de "sé dónde" y, por tanto, de la de "sé cómo".

DE RERUM NATURA

La época contemporánea se caracteriza por el acercamiento de las tareas gnoseológicas más generales de la ciencia a sus tareas aplicadas. Las búsquedas de una explicación general a la cuestión de la naturaleza de las cosas adquieren significación directa para el fomento económico y su acelera-

ción. En el caudal de la información prácticamente necesaria que forma noozonas y eleva el ordenamiento entrópico-negativo del mundo figura la información sobre las regularidades cada vez más generales del mundo. Además de tal información, los ideales de la ciencia forman parte de los factores inmediatos del progreso.

Vamos a considerar la ciencia desde el aspecto puramente gnoseológico, sin tocar sus finalidades prácticas, como proceso de explicación de los fenómenos observados. La palabra "explicación" cambia su sentido sin reducirse nunca a la indicación fenomenológica de otros fenómenos más próximos y sin incluir de hecho nunca la llamada causa final de los fenómenos. El cambio de sentido de la "explicación" está vinculado con el cambio del ideal científico. El "ideal" es el mpulso inmanente del desarrollo de la ciencia, es a lo que aspira la ciencia. Más adelante, al final de esta parte del libro, en un ensayo aparte, se tratará el problema de la finalidad en la ciencia, de esta última como actividad racional y de su nexo con la transformación racional del mundo. Ahora se trata de los impulsos inmanentes, de los ideales científicos.

En la ciencia, cada época se caracteriza por algunos ideales de la explicación física de la naturaleza. La "perfección interna" einsteiniana de las teorías físicas se mide por el nexo de estas teorías con los principios universales de tal explicación ideal. El pronóstico para el año 2000 debe contestar la pregunta: ¿a qué ideal de explicación científica se aspirará en los últimos decenios de nuestro siglo? Tratándose de las investigaciones básicas, es muy poco lo que podemos decir sobre los resultados previsibles, pero la *dirección* de estas investigaciones se ve más claramente, se determina por el ideal contemporáneo de la ciencia, que en la actualidad se perfila con una nitidez cada vez mayor.

El ideal contemporáneo de la ciencia se distingue del ideal clásico no sólo por su contenido, sino también por su evidente dinamicidad. La ciencia contemporánea ve en su ideal de la explicación científica del mundo algo que se transforma

ya en vida de una generación. Para formular el ideal contemporáneo de la explicación científica conviene confrontarlo con los esquemas ideales que determinaban en el pasado el estilo y la dirección del pensamiento científico.

En el pasado, la ciencia siempre buscó objetos cuya existencia y conducta determinasen en última instancia todos los procesos de la naturaleza. En la filosofía griega de la naturaleza aparecieron dos concepciones: el mundo se asemeja al agua, y el mundo se asemeja a la arena. La primera concepción, continua, consideraba que la base real de los fenómenos eran los cambios, las deformaciones y los desplazamientos de las partes de la sustancia continua. Se atribuía a estas partes distintos predicados cualitativos o bien se consideraba que la sustancia era homogénea. La segunda concepción, atomística, consideraba principalmente, como ladrillos del Universo, las partes discretas movibles de la sustancia homogénea, rodeadas del "no-ser" democritiano, o sea, del espacio vacío.

Inicialmente dominó la idea de la diversidad y continuidad de la materia. Los elementos aristotelianos –partes cualitativamente diferentes de la sustancia continua– forman, en sus combinaciones, todo el mundo multicolor que nos rodea. El ideal de la ciencia consiste en reducir esta diversidad a las combinaciones de cuatro elementos. Esta opinión se mantuvo hasta el siglo XVII. El otro enfoque de la materia es el atomístico. Su ideal consiste en reducir todos los fenómenos al agrupamiento espacial de partículas que no poseen ningún distintivo cualitativo. Esta concepción de la materia y este ideal de la explicación científica ejercieron colosal influencia sobre la cultura mundial, sobre las demandas del hombre que va conociendo la naturaleza y se la supedita e, incluso, sobre los pronósticos, en los cuales la ciencia pinta su propio futuro, comprendidos los pronósticos contemporáneos. Hasta nosotros han llegado fragmentos de obras de Demócrito y Epicuro y la obra maestra del discurso poético y el pensamiento científico –el poema de Lucrecio *Sobre la naturaleza de las cosas (De rerum natura)*– que no son sólo mo-

numentos del pensamiento que busca las causas finales del ser, sino también un impulso que acelera estas búsquedas. El pensamiento contemporáneo busca nuevas causas finales del ser a sabiendas de que ellos no son finales. Pero esto sólo significa que el poema de Lucrecio y todo lo que está detrás de este poema conservará siempre su significación "impulsora", aceleradora, para el pensamiento humano que quiere conocer en qué consiste la *rerum natura,* la naturaleza de las cosas.

La ciencia del siglo XVII asimiló los ideales de la atomística antigua, que pasaron a ser base de la doctrina clásica de la sustancia y del ideal clásico de la ciencia. Por lo demás, la respuesta de Descartes –la sustancia es idéntica al espacio– excluyó del cuadro del mundo el espacio vacío, que había figurado en la atomística antigua. Pero esto cambió poco el asunto. Si los átomos no poseen predicados cualitativos es difícil distinguirlos del espacio vacío circundante. Aquí se observa la misma dificultad con la cual no pudo Descartes, al no hallar la delimitación entre un cuerpo y los cuerpos circundantes. Leibnitz y Newton trataron de eliminar esta dificultad. Leibnitz atribuyó a los cuerpos propiedades dinámicas que los distinguen de las partes del espacio. Los cuerpos poseen inercia: resisten a las fuerzas que tratan de cambiar sus estados. Son capaces de influir sobre el estado de otros cuerpos. Las partes del espacio carecen de tal capacidad. En ello consiste la diferencia entre la sustancia, o sea, materia homogénea dividida en cuerpos discretos, y el espacio.

Newton, valiéndose del concepto de fuerza, esbozó el cuadro de las fuerzas en interacción. Todos los procesos en la naturaleza se reducen al reagrupamiento de los cuerpos y se explican por las interacciones de los cuerpos. Encontrar esta base inicial de todos los procesos: tal es el ideal clásico de la ciencia, lo que Einstein calificara de *programa de Newton.*

Descartes, Leibnitz y Newton explicaron con la interacción de los cuerpos su *conducta,* estados, impulsos y acelera-

ciones. Pero la *existencia* de los cuerpos se eliminó de la física, explicándose de modo metafísico. Sólo un pensador del siglo XVII –Espinosa– quiso introducir la existencia de los cuerpos en el marco de la física. El consideraba la naturaleza como causa de la existencia propia de ésta (*causa sua*), como algo que interacciona consigo mismo y no necesita de una causa exterior para su existencia. Esta idea no se plasmó en la física clásica. Al exponer las ideas no clásicas contemporáneas, hablaremos de la idea sobre el Universo que por sí mismo es causa de la existencia de cada una de las partículas que lo componen. Ahora anotemos sólo que la idea de Espinosa se encuentra en el principal cauce del pensamiento físico, pese a que tuvo que esperar dos siglos para su realización física, o sea, hasta que apareció la teoría que vincula, aunque sea hipotéticamente, la concepción de la existencia de los cuerpos con las observaciones experimentales y pretende explicar los resultados experimentales que no encuentran una explicación distinta.

La ciencia clásica atribuía la existencia de los cuerpos al agrupamiento de algunos cuerpos más simples que formaban un cuerpo único. Las propiedades de este último se explican por la estructura, la composición, la disposición, las interacciones y los movimientos de los elementos que lo componen. Pero esta concepción enviaba de un peldaño de la jerarquía estructural del mundo a otro. Al final se encontraba la respuesta que colocaba la existencia de las partículas elementales indivisibles al margen de una explicación física.

Sin las propiedades sustanciales el cambio del estado de los cuerpos, su desplazamiento y su aceleración perdían sentido. Pero, ¿de dónde salieron estas propiedades sustanciales? La ciencia clásica no daba respuesta a esta pregunta.

Como se ha dicho ya, Leibnitz y Newton atribuyeron a la sustancia una propiedad que la distingue del espacio, esto es, la capacidad de la interacción de las partes de la sustancia. Boscovich consideraba que las partículas eran centros

inextensos de las fuerzas. La interacción permite determinar físicamente, en el experimento, la masa y la carga del cuerpo. Faraday atribuyó a las interacciones un carácter sustancional. La fuerza es un tubo elástico de fuerzas, mientras que las partículas no son más que extremos de los tubos de fuerza, puntos especiales del campo de fuerza. En la teoría de Maxwell, el campo se emancipó de los cuerpos por entero; las fuerzas electromagnéticas –líneas cerradas de torbellino del campo electromagnético– pueden existir y desplazarse en un espacio, donde no hay cuerpos habituales, que posean masas y cargas.

Pero todas estas respuestas *clásicas* a la pregunta de qué es la materia, de la diferencia entre la sustancia y el espacio y entre la existencia física y la conducta no rebasaron, en el fondo, el marco de la conducta ni resolvieron el problema de la existencia. La interacción de la partícula con otras partículas se expresa con una u otra trayectoria dependiente del campo, con la velocidad y la aceleración de la partícula. Ahora diríamos que la interacción de partículas encorva de una u otra manera sus líneas universales. Pero aquí volvemos a tropezar con el susodicho problema continuo que aparece en relación con cada intento de geometrizar el cuadro del mundo: ¿cuál es la diferencia entre la línea universal de la partícula y la imagen geométrica? ¿cuál es su *contenido* y cuáles son los acontecimientos no geométricos que la conforman?

Ni la ciencia clásica propiamente ni la teoría de la relatividad dieron respuesta a estas preguntas. Y sobre ellas se medita ya hace mucho tiempo. En el fondo, las desviaciones espontáneas de las partículas de la vía prescrita macroscópicamente –*clinamen* de Epicuro y Lucrecio– debían garantizar el verdadero ser del átomo. Los epicureanos fueron más allá, hablando no sólo de la "rebelión" del átomo –su desviación espontánea–, sino también del aniquilamiento y el surgimiento alternativos de la partícula en su recorrido. Alejandro de Afrodisia decía, a principios del siglo II de n.e., que los epicureanos piensan que "el movimiento no existe, que sólo existe su resultado", es decir, la partícula, al desa-

parecer y al surgir luego en otra célula del espacio discreto, parece avanzar.

¿Por qué en un libro dedicado a los pronósticos para el año 2000 volvemos a Epicuro, al pasado de hace más de dos milenios? Esto se explica por el carácter radical del pronóstico para el año 2000 en el campo de los conocimientos básicos. Cuanto más radical es la transición previsible a nuevas representaciones, tanto más radical es la transmutación retrospectiva de valores –vinculada con esta transición– y tanto más voluminoso es el estrato de ancestrales representaciones al uso, levantado y volcado por el pensamiento contemporáneo. Además, este pensamiento no sólo cambia lo que parecía inconmovible durante milenios, sino que descubre en el pasado perplejidades, contradicciones e interrogantes dirigidos al futuro.

¿En qué consiste lo nuevo que permite ahora revaluar las representaciones más arraigadas? ¿En qué consiste la renovación radical del estilo de las investigaciones básicas y los nuevos principios de la ciencia preñados del germen de una civilización nueva, postatómica? El campo de partida de la nueva revolución científica es la teoría de partículas elementales. Esto no puede asombrar a nadie. Lo que en cada época parece partículas elementales es el eslabón más fundamental de la concepción del mundo. Durante dos milenios, las partículas elementales se llamaban átomos y parecían constituidas de materia homogénea, sin calidad. Más tarde, estos átomos se desintegraron en protones, neutrones y electrones que se diferencian por la masa, la carga y la duración de vida. Posteriormente se agregaron a ellos nuevas especies de partículas que se cuentan hoy por decenas y, quizá, por centenares. La nueva etapa de la teoría de partículas elementales consistirá en sistematizar las partículas conocidas y las que se descubrirán en el futuro. Pero esta sistematización se distinguirá, por lo visto, esencialmente, de la tabla de Mendeléiev. La concepción física del sistema periódico fue clásicamente estructural: los átomos se distinguen por el número y el agrupamiento de los subátomos. Es poco probable que

las partículas que se llaman ahora elementales resulten estructuras compuestas de partículas menores. Más bien, sus diferencias aparecerán ante nosotros como expresión de diferentes nexos por el carácter e intensidad con otras partículas, quizá, con todo el Universo.

A mediados de nuestro siglo, la investigación de los haces cósmicos y los flujos de partículas de alta energía, adquirida por ellas en aceleradores, condujo a una ampliación considerable de los datos sobre las partículas elementales. No se trata sólo de que aumentase el número de especies de partículas elementales que conocemos. Este aumento plantea ante la ciencia problemas muy fundamentales. Estos problemas distan mucho de estar resueltos, y el físico contemporáneo ve con sentimientos dispares, y aún más complejos, la rápida ampliación de la tabla de las partículas elementales. Por una parte, presenciamos la ampliación casi ininterrumpida de las representaciones sobre los ladrillos del Universo, sobre los conocimientos básicos. Los descubrimientos en este campo, que en otros tiempos hacían época en la ciencia o, en todo caso, daban comienzo a períodos largos (como, por ejemplo, el descubrimiento de las primeras partículas que se conocieron: electrón, protón y fotón), son actualmente muy frecuentes. Esta frecuencia infunde esperanzas y a la vez (y en ello consiste el segundo aspecto del asunto) asusta. Porque cuanto mayor es el número de partículas elementales de distinta especie, tanto más lejos está, por lo visto, no sólo el ideal clásico –la explicación del Universo por el movimiento de las partículas de materia homogénea–, sino, en general, la explicación del Universo por el movimiento de sus "ladrillos" elementales.

Pero en el presente caso existe también un tercer aspecto del asunto, el tercer componente del presentimiento barruntado por el caudal de nuevas y nuevas especies de partículas elementales. Digamos entre paréntesis que estos "componentes" son, en el fondo, pronósticos del desarrollo ulterior de la teoría de partículas elementales. Este tercer componente consiste en la sospecha de que la imagen de los la-

drillos no viene al caso, que el Universo no se compone de "ladrillos".

La tarea del presente capítulo es ilustrar, con algunas hipótesis convencionales, este componente, este pronóstico del desarrollo posterior de la ciencia. No se trata tanto de las hipótesis físicas cuanto de las histórico-físicas, que no se refieren a la estructura supuesta del mundo, sino a la supuesta aparición y desarrollo de las concepciones físicas. Huelga decir que estas concepciones describen en cierta medida la estructura real del mundo, pero, no obstante, la reserva que acabamos de exponer tiene cierto sentido: la hipótesis histórico-física concreta puede ser muy convencional y, a pesar de eso, ilustrar una tendencia real, perfilada ya, del pensamiento científico. Aquí trataremos de aclarar si es posible una evolución de las investigaciones básicas que, además de aumentar o disminuir el número de ladrillos del Universo, renuncie a este concepto como concepto de partida.

Tal concepto de partida fueron precisamente los ladrillos del Universo postulados por la ciencia clásica, comprendidos sus prototipos atomísticos antiguos y los sistemas clásicos que figuran en la ciencia contemporánea. Los átomos de Demócrito y sus versiones ulteriores de Gassendi y otros pensadores de la Edad Moderna, los cuerpos impenetrables de la física cartesiana, los centros dinámicos de Boscovich, las cargas que figuran en el cuadro del campo electromagnético y las partículas elementales, si se hace caso omiso de sus aniquilaciones y génesis: todos estos sistemas respondían a la cuestión de la *conducta* de los elementos del ser, y no de la *existencia* de los mismos.

Hay motivos para pensar que una tendencia muy general del desarrollo de la ciencia será la ya perfilada de explicar el ser de las especies empíricamente observables de partículas elementales, de explicar por qué ellas poseen estas y no otras masas y cargas, propiedades que distinguen una especie de partículas de otras.

Abordaremos el problema del ser de las partículas prestando atención, ante todo, a la masa y la carga de la partí-

cula de cada especie. Prescindiendo de estas propiedades no podemos distinguir la partícula del punto en que se encuentra ella en el momento dado. Los cambios de la carga y la masa es una transmutación de la partícula, transformación de la partícula de una especie en otra. Las transformaciones de los pares electrón-positrón en fotones o de estos últimos en pares electrón-positrón no se reducen al traslado de un punto universal a otro. Estos procesos no se circunscriben a un cuadro de partículas idénticas en movimiento. Las transmutaciones no se circunscriben al estilo de la física clásica, que concebía la naturaleza con ayuda de modelos tiempo-espaciales de conducta de las partículas inaniquilables. La ciencia retorna a la representación epicureana expuesta por Alejandro de Afrodisia: en los campos muy pequeños no hay movimiento, sino tan sólo un "resultado del movimiento", un desplazamiento como resultado de las aniquilaciones y génesis de la partícula de la especie dada. Pero no se debe comprender la palabra "retorno" como repetición. La ciencia no necesita modernizar lo viejo ni arcaizar lo nuevo. Volviendo al pasado, la ciencia no recoge las soluciones sino los problemas y los ventila, naturalmente, de otro modo.

Las nuevas posibilidades, que permiten contestar la pregunta planteada hace más de dos milenios, consisten en la observación de las *interacciones fuertes* y la manipulación con ellas.

En física moderna existe la noción de una jerarquía de interacciones cada vez más fuertes. Aquí podemos limitarnos a dos eslabones de esta jerarquía, que comienza por una interacción ultradébil, gravitacional, seguida por una interacción débil, luego electromagnética y, por último, fuerte. La interacción electromagnética es una interacción de todas las partículas cargadas de electricidad con el campo electromagnético, es decir, con los fotones. Su intensidad se caracteriza por cierto número 1/137, sobre cuya naturaleza se han expuesto no pocos juicios contradictorios, que hasta ahora no han conducido a una idea nítida. Podemos aproximarnos a cierta idea inicial, y no rigurosa del todo, si consideramos

este número como medida de los efectos "no cartesianos" de la interacción, esto es, de efectos irreductibles al cambio de conducta de las partículas idénticas. Cuanto mayor es la constante que mide la intensidad de la interacción, tanto menor es el tiempo que ocupa esta interacción y tanto mayor es la probabilidad de que no provoque una modificación de la conducta de la partícula, sino su transformación en partícula de otra especie. La constante que caracteriza la interacción electromagnética es pequeña. Por eso, son raras las veces cuando la interacción electromagnética (en comparación con la interacción fuerte y dadas las energías no muy grandes de las partículas en interacción) conduce a transmutaciones. La interacción fuerte se caracteriza por una constante muchas veces mayor y se opera, aproximadamente, durante 10^{-23} segundos (es decir, con una rapidez millones de veces mayor que la interacción electromagnética que transcurre durante 10^{-15}-10^{-17} segundos, más o menos), conduciendo a los actos de transmutación.

Hablando con propiedad, estos actos se producen cuando las partículas poseen energías muy altas, esto es, se mueven muy velozmente. Por eso, el estudio de las transmutaciones de las partículas requiere que a éstas en su interacción se les comuniquen grandes velocidades. Los actos transmutacionales también pueden producirse en el caso de interacción electromagnética: si los fotones poseen alta energía (que supere la energía de la masa de reposo del electrón y el positrón en conjunto), los fotones se convertirán en pares electrón-positrón. En este caso, las correlaciones de la teoría de la relatividad no sólo conducen a la necesidad de tener presente cierto cambio de la masa, que depende de la velocidad con que se mueve la partícula. En este caso, la masa correspondiente a la energía cinética se convierte en masa del mismo orden e incluso mayor que la del reposo de las nuevas partículas, pasando a ser masa de reposo. Para que surjan nuevas partículas se necesita que la energía de las partículas existentes supere la energía de reposo de las partículas generadas, proporcional a su masa de reposo.

Semejantes procesos rebasan el marco de la teoría de la relatividad como doctrina de las líneas universales de los cuerpos idénticos. Estos procesos no cabe denominarlos ya relativistas sino ultrarrelativistas. El paso del mundo relativista al ultrarrelativista es el paso de la *conducta* de partículas idénticas de una u otra especie a la *existencia* de partículas de la especie dada, a su surgimiento o aniquilación, o sea, a la transmutación de la partícula de especie distinta en partícula de la especie dada o de la partícula de la especie dada en la de especie distinta.

Es un paso muy radical. Si la existencia de la partícula elemental de la especie dada se hubiera explicado por el agrupamiento de ciertas subpartículas, habríamos tenido un eslabón más de la atomística clásica. La existencia de la molécula se explica por el agrupamiento de átomos, y la existencia del átomo, por el agrupamiento de partículas elementales, y ahora, la existencia de la partícula, por el agrupamiento de subpartículas. Todo esto son explicaciones estructurales que reducen la existencia de la Galaxia, el sistema planetario, la estrella, la molécula y el átomo a la estructura interna. La estructura puede ser clásicamente estática (conjunto de distancias espaciales entre las posiciones de los cuerpos exactamente definidas en cada momento, cuerpos que componen el sistema dado); puede ser relativista (conjunto de intervalos cuatridimensionales); dinámica (conjunto de las fuerzas actuantes entre los elementos); cuántica (no se puede determinar exactamente las distancias entre los cuerpos, estas distancias se determinan con tanta menor exactitud, cuanto más exactamente están determinadas las interacciones y el impulso de las partículas). Pero cuando se trata de la partícula elemental, su existencia no se reduce a la estructura interna.

Tal vez la existencia de la partícula puede explicarse apelando a la combinación de las partículas que interaccionan poseyendo una masa *mayor*.

En 1964, Gell-Mann y, a la vez, Zweig supusieron que existían ciertas partículas de masa muy grande, denominadas

quarks, nombre de unos seres fantásticos de la novela de Joyce *El despertar de Finnegan*. Cada una de las partículas en interacción fuerte (o sea, la mayoría abrumadora de las partículas) se compone de tres *quarks*. ¿Y cómo resulta que la masa de una partícula tal es muchas veces menor que la de los *quarks* que la componen? La cosa se explica por el defecto de masa, que ya conocemos. Al formarse una partícula, de los *quarks* se desprende una energía muy grande y, respectivamente, tal partícula resultante posee una masa muchas veces menor que la de los *quarks* que la constituyeron. Si la hipótesis de los *quarks* corresponde a la realidad, éstos deben existir en estado libre, aunque muy raras veces. Su mayoría "se quemó" ya, es decir, los *quarks* se unieron en sistemas de tres *quarks*, o sea, en las partículas que conocemos, con una masa distinta, pero siempre considerablemente menor que la de los *quarks*.

Con la hipótesis de los *quarks*, la física emprendió un camino nuevo: no construye los sistemas de los elementos menores que ellos, sino de los mayores. Hablando con propiedad, la física comenzó este camino aún antes: en 1949, Fermi y Young supusieron que el nucleón y el antinucleón pueden constituir una partícula de masa considerablemente menor que la de cada uno de ellos. ¿Cuán lejos puede avanzarse por este camino? M. Márkov investigó el problema de su límite y formuló el concepto de la partícula elemental de peso máximo: el *maximón*. Son partículas gigantescas en escala del micromundo. M. Márkov supone que ellas se prensaron en las partículas conocidas, mucho menores por su masa, como resultado de un proceso que explica algunos fenómenos astronómicos. Es el *colapso gravitacional* del cual se hablará al tratarse las perspectivas del estudio del Cosmos. Este proceso transcurre en un campo donde la sustancia está prensada con una densidad mucho mayor que en los núcleos atómicos. En tales condiciones puede comenzar un proceso muy rápido, prácticamente instantáneo, de compresión ulterior de la sustancia, provocado por las fuerzas de atracción mutua de las partículas.

El colapso gravitacional conduce instantáneamente a un inmenso defecto de masa, a una enorme diferencia entre la suma de masas de los *maximones* y la masa de la partícula en que los engloba el colapso. Mas para que comience el colapso gravitacional se necesita la existencia de una densidad de la sustancia que no se observa en la Tierra. Tales condiciones podían existir cuando el Universo estaba prensado en un núcleo relativamente pequeño: punto inicial de su ampliación que comenzó otrora y continúa actualmente. Así pues, el punto inicial del crecimiento del Universo coincide con el punto inicial de la génesis de las partículas modernas.

Estas observaciones someras sobre algunas hipótesis típicas de la física contemporánea no han sido expuestas sin un propósito. La nueva etapa de desarrollo de la física teórica, que empieza actualmente, influye sobre el progreso de la ciencia (acelera este proceso y, en definitiva, provoca el crecimiento de la aceleración de la productividad del trabajo social) no sólo con las nuevas concepciones positivas, sino también con estilo del pensamiento científico. Tal dependencia no puede realizarse sin cierta evolución sicológica, sin una mayor plasticidad del conocimiento. No sabemos todavía si los experimentos confirmarán la existencia de los *quarks* o *maximones*. Pero sea como fuere, estas hipótesis cumplen ya en nuestros días una función importante para la civilización contemporánea: hacen más plástica la sicología de las hombres que meditan sobre la naturaleza (no sólo de los científicos profesionales), acelerando así la percepción de la ciencia y el influjo de su estilo dinámico sobre la cultura contemporánea. Esto es, precisamente, lo que justifica el hecho de que las especulaciones físicas problemáticas, que no pretenden ser concluyentes, rebasen los marcos esotéricos.

Todo esto se ha dicho a fin de que el lector se prepare para digerir nuevas especulaciones hipotéticas igualmente o quizá, más problemáticas. Su sentido consiste en imprimir una forma relativamente cierta a pronósticos, que son ahora tan frecuentes en física, en los que se reflejan las búsquedas del nuevo ideal de la ciencia, ideal confrontable con el clásico,

con la reducción de la *rerum natura* a un movimiento de partículas todas idénticas y que no desaparecen, confrontable por la comunidad de englobar a toda la naturaleza en una concepción única de origen. Cuanto mayor es el desarrollo de la teoría de las partículas elementales, tanto más firme es la convicción de que se necesita una nueva concepción de la *rerum natura.*

Voltaire atribuyó a Descartes el dirigirse a Dios prometiendo crear un mundo igual al creado por la Divina Providencia si le eran dados la materia y la ley de su movimiento. En el fondo, no sólo Descartes, sino también la ciencia clásica en conjunto asumían la tarea de explicar todo el Universo, si la existencia de la materia y las leyes del movimiento de sus elementos discretos se dan como puntos de partida del análisis. Datos de partida análogos existen en la ciencia moderna. Son constantes empíricamente establecidas. Desde que la física adquirió un carácter cuantitativo, desde que la ciencia no sólo observa, sino también mide los procesos físicos, el ideal de la explicación científica consistió en reducir a un mínimo las constantes netamente empíricas. A fines del siglo XVI y comienzos del XVII, Kepler quiso ya deducir las distancias medias entre los planetas basándose en las correlaciones puramente geométricas. Pensaba que al trazar un octaedro correcto en torno a la esfera de Mercurio y abarcándolo luego con una superficie esférica, se obtendrá la esfera de Venus; luego, al trazar en torno a esta esfera un icosaedro correcto, se obtendrá la esfera de la Tierra, y, de este modo, utilizando todos los poliedros correctos, pueden obtenerse las esferas de todos los planetas.

Este intento era bastante fantástico. Pero no desapareció la pregunta: "¿Por qué el mundo es precisamente tal como es, y no distinto?" En todos los períodos de su desarrollo, la física, tanto clásica como no clásica, trataba de excluir las magnitudes puramente empíricas, de vincularlas con otras magnitudes, de explicarlas de modo causal y convertir el cuadro del mundo en esquema autoconcordado donde cada constante se desprenda de la concepción general del Universo. En

1949, Einstein escribió en su autobiografía acerca de la coronación de semejante tendencia, acerca de una teoría física fundamental en que no existan en general las constantes puramente empíricas, en que todas las constantes se desprendan de un esquema único, que exprese en rigor la armonía del Universo[20]. Un día, Einstein preguntó a su asistente Straus: "¿Podía Dios crear un mundo distinto?", es decir, ¿podía la armonía causal expresarse con otras constantes físicas?[21]

Si la mencionada tendencia se considera continua en todo el desarrollo de la física, ¿cuáles constantes son ahora objeto de las búsquedas más intensas de la explicación causal?

La ciencia moderna ha creado un cuadro relativamente ordenado de la *conducta* de las partículas elementales. Las dos constantes –velocidad de la luz y la constante de Planck, cuanto de acción–, explican numerosos procesos. Pero lo que podríamos llamar *constantes de la existencia* de las partículas elementales, o sea las masas y cargas caracterizadoras de las especies de las partículas, lejos de disminuir su número, lo aumentan. El peldaño concreto e inmediato al ideal esbozado por Einstein consiste en deducir de ciertos postulados generales el espectro de las masas y cargas de las partículas, en convertir los valores de las masas y cargas de las partículas, de empíricos, en valores teóricamente concebidos.

En ello consiste, precisamente, la misión principal de la teoría unitaria de las partículas elementales no formulada aún; en ello consiste la transición de la teoría de la conducta de las partículas a la teoría de su ser. Recordando las caracterizaciones someras –expuestas al comienzo del presente capítulo– de las concepciones del siglo XVII, se podría decir que la misión consiste en pasar del programa de Descartes al de Espinosa, a la representación sobre la naturaleza no sólo como creada (*natura naturata*), sino también como creadora (*natura naturans*) de sus elementos, naturaleza que interacciona consigo misma y que es causa de su propia existencia.

---

[20] Véase A. Einstein. *Op. cit.*, pp. 61-63.

[21] *Helle Zeit–Dunkle Zeit*, Zurich, 1956, S. 72.

Si utilizamos los datos acumulados en los últimos decenios sobre las partículas, sus interacciones y transmutaciones, ¿cómo podemos convertir este programa, de filosófico abstracto, en programa físico concreto, esto es, en programa de experimentos? A este interrogante, precisamente, deben contestar los pronósticos referentes a las investigaciones básicas. Estos pronósticos figuran explícita o implícitamente en las hipótesis que deducen el espectro de las masas y cargas de las partículas de cierto postulado general. Como hemos visto, muchos físicos contemporáneos aspiran a ordenar la lista abultada de partículas elementales, considerando su multiplicidad como resultado de la interacción de partículas "más elementales" que, quizá, son mayores por su masa. Además de esta tendencia, existe otra: la de deducir el espectro de las masas y cargas de las partículas (así como de otras magnitudes que caracterizan la diferencia entre las partículas de una u otra especie) de postulados más generales.

A juicio de Heisenberg, tal postulado general puede ser el carácter no lineal de la interacción primaria, responsable de la existencia de las partículas elementales. A fines de la década del treinta fue formulada una ecuación no lineal que describe la interacción de cierto campo universal consigo mismo. Las soluciones de esta ecuación debían de dar un espectro de las masas de diferentes partículas. Estas últimas son estados excitados de la "protomateria" que interacciona consigo misma. La existencia de la partícula se considera en esta teoría como resultado de la interacción. Aquí pierde sentido la noción de una partícula "pura", o sea, que no interacciona.

Hasta ahora la concepción de Heisenberg no dio resultado positivo. La teoría unitaria de partículas elementales sigue constituyendo un ideal que la ciencia moderna no ha alcanzado aún. Pero la concepción no lineal, por lo visto, se halla en la vía fundamental del progreso científico. El cuadro clásico del mundo consideraba la conducta de la partícula como algo dependiente de la existencia y disposición de otras partículas, pero esta dependencia parecía lineal. La idea de partida es el sistema dado de partículas cargadas. Este sistema se con-

sidera como fuente del campo. Este último influye sobre la partícula y determina su conducta. El surgimiento del campo de una u otra estructura en dependencia de la disposición y movimiento de las partículas es un proceso, un problema, mientras que la formación del esquema cinemático del Universo, la disposición y movimiento de las partículas en dependencia de la estructura del campo es un proceso distinto, un problema distinto. La física clásica los resolvía por separado. Se puede suponer que la teoría unitaria de las partículas elementales abordará de manera distinta el problema del movimiento e interacción de las partículas.

Si la existencia de la partícula se deduce a veces de su interacción con otras partículas, se obtiene un *sistema autoconcordado,* donde no puede haber ya una disposición atribuida de antemano de partículas que poseen ser individual, independiente de la existencia de otras partículas y de la interacción que las une. Del principio de la relatividad se desprende que la *posición* de la partícula carece de sentido sin otras partículas. Ahora nos inclinamos a pensar que la *existencia* de la partícula es imposible sin la existencia de otras partículas que interaccionan con ella. Este esquema parece paradójico y, más aún, parece ser un círculo vicioso: la existencia de las partículas se explica por su interacción, y esta última por la existencia. Es igualmente paradójica la existencia de la partícula que se explica por la de otras partículas y, además, la existencia de cada una de estas últimas no tiene carácter primario e independiente. Pero este carácter paradójico no lineal, precisamente, es propio de la naturaleza, que es causa de su propia existencia. En la física clásica, esta *naturaleza creadora (natura naturans)* de Espinosa no encontraba equivalente, constituyendo una pregunta dirigida al futuro. Ahora, esta noción reviste la forma física de sistema autoconcordado de interacciones fuertes que crean cada una de las partículas en interacción.

Tal noción de la existencia de la partícula como resultado de su interacción con otras partículas se ha mencionado ya en la primera parte del presente libro, la formularon Chew y

Frautschi y se refiere a las interacciones fuertes y a las partículas partícipes de las mismas. La partícula que interacciona fuertemente, por ejemplo el protón, parece ser resultado de los influjos dinámicos y, además, cada resultado tal es fuente de influjos dinámicos. Estos últimos determinan no sólo la conducta, sino también la existencia de las partículas.

Ahora trataremos de demostrar que la incorporación de las interacciones fuertes a la explicación de la existencia de las partículas elementales se cruza con otra tendencia. Trátase del espacio y el tiempo discretos. Esta idea muy vieja, existente, como hemos vista ya, en la Antigüedad, adquirió a mediados del siglo XX un significado especial. Se la consideró como posible salida, aunque difícil, de una situación muy difícil. En la década del treinta y, en mayor medida aún, en la del cuarenta se hizo claro que la aplicación consecuente de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica para describir los acontecimientos en las áreas tiempo-espaciales muy pequeñas conduce a un resultado carente de sentido desde el punto de vista de la física. Los valores de la energía y la carga, calculados tomando en consideración las relaciones relativistas y cuánticas, resultan infinitas. Las suposiciones sobre la energía infinita y la carga infinita contradicen todo lo que conocemos sobre el mundo. No obstante, los cálculos conducían precisamente a ese resultado físicamente absurdo.

Para aclarar esta situación y la importancia que tiene el espacio-tiempo discreto para salir de ella, veamos una sola fuente de los valores infinitos de la energía. El electrón puede radiar fotones que son absorbidos por ese mismo electrón. Cuanto más breve es el intervalo entre la radiación y la absorción de semejante fotón, tanto mayor es su aporte a la energía del electrón y, respectivamente, a su masa. Esta "autoacción" del electrón conduce a valores infinitamente grandes de su energía y masa: si el fotón puede ser radiado y, luego, absorbido, durante un intervalo de tiempo tan breve como se quiera, y recorrer una distancia tan pequeña como se quiera; su aporte a la energía del electrón puede ser tan grande como se quiera. Para eludir los valores infinitos existen métodos

matemáticos muy virtuosos, que proporcionan valores de la energía muy próximos a los que da el experimento. Poseen lo que Einsten calificara de *justificación externa.* Pero dichos métodos se emplean *ad hoc,* esto es, especialmente para obtener el resultado que se busca; no poseen en este sentido *perfección interna,* no se desprenden de una teoría física general inequívoca y se emplean "al fiado", con la esperanza de que semejante teoría sea creada.

Tal teoría podría arrancar de la discontinuidad del espacio y el tiempo. En este caso, la emisión del fotón y su absorbción no podrían operarse durante un tiempo tan corto como se quiera y, respectivamente, su camino no podría ser menor a cierta longitud mínimo (un intervalo mínimo de tiempo multiplicado por la velocidad de la luz). En este caso, el cálculo del aporte de los fotones, radiados y absorbidos luego por el electrón, a su energía y masa se limitaría de modo natural, adquiriendo los métodos de eliminación de los valores infinitos sentido físico y "perfección interna".

Recordemos el prototipo histórico –que ya conocemos– de la concepción del espacio y el tiempo discretos: las opiniones de los epicureanos expuestas en el siglo II de n. e. por Alejandro de Afrodisia. La partícula no se desplaza de una célula espacial mínima a otra, sino que desaparece en una de ellas, surgiendo en la contigua. El nexo entre la idea de discontinuidad y la del surgimiento y eliminación de la partícula se conservó durante toda la evolución de estas ideas. En efecto, el movimiento dentro de la célula mínima significaría que durante la primera mitad del intervalo de tiempo la partícula se encuentra en la primera mitad de la célula, y durante la segunda mitad del intervalo, en la segunda mitad de la célula espacial. En otros términos, el intervalo mínimo de tiempo y la célula espacial mínima se dividen por mitad, lo cual contradice su definición como magnitudes mínimas, que no se dividen más. Pero la conjetura puramente lógica de la filosofía natural sobre el nexo del espacio y el tiempo discretos con la aniquilación y el surgimiento de la partícula podía convertirse en concepción física únicamente después de intro-

ducirse en la ciencia los conceptos de interacciones fuertes y de efectos ultrarrelativistas de transmutación.

A principios de los años treinta, la idea de discontinuidad del espacio y el tiempo adquirió una forma nueva bajo la influencia de la mecánica cuántica. El concepto de indeterminación cuántica constituyó la base de una serie de concepciones que negaban a la partícula una localización determinada dentro de las áreas tiempo-espaciales muy pequeñas. Más tarde, distintas concepciones de esta índole se coronaron en cierto grado con la *S*-matriz heisenbergina, que desempeñó un gran papel y lo sigue desempeñando en la teoría de las partículas elementales. La *S*-matriz es el operador que permite describir el estado del sistema de partículas después de la dispersión, si se conoce el estado del mismo antes de la dispersión. Sin embargo, las palabras *antes* de la dispersión y *después* de ella significan "mucho antes" "y mucho después" en comparación con la duración del acto mismo de dispersión, o sea, del tiempo de la aproximación máxima de las partículas y del cambio de sus movimientos. En cuanto al propio intervalo de tiempo y al área espacial donde se opera la dispersión, Heisenberg considera imposible atribuir a la partícula una localización determinada espacial y temporal. Introduce la longitud espacial mínima y el intervalo mínimo de tiempo que forman la célula cuatridimensional mínima. Dentro de esta última pierde sentido la posición tiempo-espacial. Por eso, la posición y el tiempo del acontecimiento –coordenadas tiempo-espaciales que por su exactitud se introducen en la célula mínima– carecen de sentido desde el punto de vista de la física, lo cual confirman, en particular, los valores infinitos de la energía y la carga que aparecen cuando estudiamos los acontecimientos tiempo-espaciales en las esferas de orden de las células mínimas. De estos razonamientos, precisamente, se desprende el hecho de operar con los estados "mucho antes" y "mucho después" del acto de dispersión, que se opera en un campo tiempo-espacial muy pequeño.

La incertidumbre cuántica, como base de la discontinuidad del espacio, es una forma de la idea de discontinuidad,

forma específica y típica de los años treinta y del período posterior.

A fines de la década del cuarenta, Snyder[22] vinculó la discontinuidad del espacio con una peculiar correlación de la indeterminación. La correlación heisenbergiana de la indeterminación liga cada coordenada con el correspondiente componente del impulso. Si la coordenada x se determina con creciente exactitud, el componente del impulso p_x será cada vez menos determinado. De modo análogo Snyder une entre sí las coordenadas x, y y z: si una de ellas se mide cada vez más exactamente y trata de ser continua, las otras coordenadas serán cada vez menos determinadas. Por eso, el volumen no puede reducirse a un punto, el espacio en conjunto resulta discreto, constituido de volúmenes que no se dividen más, y la posición de la partícula será siempre indeterminada.

A fines de la década del cincuenta, Gohish desarrolló una concepción distinta del espacio discreto. Se consideran discretos no sólo la distancia tridimensional (suma geométrica de tres secciones de coordenadas) o el volumen tridimensional, como en Snyder, sino también cada coordenada y cada distancia, incluso si se mide a lo largo de una de las coordenadas. En este caso, para el mundo ultramicroscópico pierde sentido la causalidad relativista que exige que la señal (en otros términos, cada proceso que une dos acontecimientos como causa y efecto) se propaga con una velocidad no superior a la de la luz. Pero si no se puede hablar de la distancia como función de las coordenadas de dos puntos, pierde sentido también el concepto de velocidad, esto es, la relación límite del incremento del espacio con respecto al incremento del tiempo.

Esto debe ser aclarado con más detalle.

Para determinar la distancia entre dos puntos, tomamos las diferencias de las coordenadas homónimas de estos puntos, las elevamos al cuadrado, sumamos y extraemos de la suma la raíz cuadrada. Esta fórmula de determinación de la medida es típica del espacio euclidiano. Si el espacio pasa a ser no

[22] *The Physical Review*, 1947, vol. 71, N° 1, p. 38.

euclidiano, o sea, se encorva, esta fórmula se sustituye por otra. Por ejemplo, en una superficie esférica, o sea, en el espacio encorvado bidimensional, la distancia no es igual ya a la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias de coordenadas. Esta fórmula se sustituye por una fórmula distinta.

Pero toda determinación de medida tiene sentido sólo para un espacio continuo. Si el espacio se compone de puntos, cuyas distancias entre sí no se pueden determinar con un número, porque no se dividen en partes, no se puede hablar de coordenadas (distancias entre el punto y los ejes de coordenadas) ni de medición en general en tal espacio.

¿Qué significan en este caso las palabras "longitud mínima del orden de 10^{-13} cm" "intervalo mínimo de tiempo del orden de 10^{-24} seg"? ¿Cómo se puede hablar de distancias mínimas en un espacio para el cual pierde sentido la palabra misma "distancia"? Mas por otra parte, sin el concepto de distancia mínima sería difícil imaginarse qué es el espacio discreto.

Aquí tropezamos con la complementación mutua de dos conceptos contradictorios, recíprocamente excluyentes, pero que, al mismo tiempo, pierden sentido uno sin otro. El concepto de espacio discontinuo tiene sentido si puede transformarse en espacio continuo; este concepto adquiere sentido físico únicamente porque lo complementa el concepto de espacio continuo.

Adelantándonos un tanto, señalemos que el paso del espacio discontinuo al continuo constituirá uno de los problemas más importantes de la ciencia durante los próximos decenios. Se puede suponer que en el espacio discreto ultramicroscópico se desenvuelven acontecimientos de los cuales se deducirá la causalidad relativista. Recordamos que la línea universal sigue siendo un concepto geométrico, y no físico, mientras no se llena con acontecimientos irreductibles a la estancia en cada punto universal y a la transición al punto universal siguiente. Puede ser que los acontecimientos ultramicroscópicos (¡y ultrarrelativistas!) constituyan precisamente el con-

tenido del armazón de las líneas universales que transforma a este último en mundo físico.

Semejantes "puede ser" son componentes esenciales, aunque indeterminados, del pronóstico. A la vez son típicos del estilo del pensamiento físico en la teoría de las partículas elementales: en el dominio de las investigaciones más fundamentales, búsquedas contemporáneas de *rerum natura*. Estas búsquedas se apoyan, en parte, en las reminiscencias, en los recuerdos sobre búsquedas análogas desde la Antigüedad hasta nuestros días. Tales recuerdos son necesarios para comprender qué se opera hoy en la ciencia y a dónde tiende su desarrollo previsible. Pero la solución de las viejas cuestiones parte de factores que se conocieron muy recientemente. Esto se refiere, ante todo, a los descubrimientos experimentales y las sintetizaciones teóricas en el dominio de las interacciones fuertes y las transmutaciones de las partículas elementales.

En nuestros tiempos, el pronóstico científico hace recordar la tangente a una curva, la tangente que trazamos para determinar la dirección de la curva en el punto dado. Este pronóstico no pretende ser profecía: en el momento siguiente, la curva cambiará de dirección, y esta última no coincidirá con ninguna de las tangentes trazadas ahora. Y no obstante, la comprobación de la curva no puede adelantarse sin tangentes, cada una de las cuales no pretende tener carácter concluyente.

Ahora trataremos de trazar semejante tangente, tomando como punto de partida la idea de la regeneración de las partículas, expuesta en 1949 por Y. Frénkel[23]. El supuso que la partícula se convierte en partícula de otra especie, y esta última vuelve a transformarse en partícula de la especie inicial, y llamó a esta transmutación doble, regeneración de la partícula. En la década del cincuenta y más tarde, esta hipótesis se consideraba en relación al carácter discreto del espacio-tiempo. Supongamos que la regeneración de la partícula se produce en la célula tiempo-espacial contigua, es decir, dentro

[23] Y. Frénkel. *Informes de la AC de la URSS*, 1949, vol. 64, pág. 1307; *Exitos de las ciencias físicas*, 1950, vol. 42, fasc. 1, pág. 69.

del intervalo mínimo de tiempo (del orden de 10^{-24} seg) y a una distancia igual a la longitud elemental (distancia que recorrerá la luz en 10^{-24} seg, es decir, distancia del orden de 10^{-13} cm). Si identificamos la partícula regenerada con la de partida, obtenemos el desplazamiento de la partícula idéntica a sí misma a una distancia del orden de 10^{-13} cm con una velocidad igual a la de la luz. Así pues, llegamos al espacio-tiempo discreto sobre un cono luminoso. Aquí, el movimiento se opera en forma de desplazamientos discretos dirigidos, en el plano general, a distintos lados y que forman una trayectoria espacial quebrada. El espacio-tiempo dentro del cono luminoso (es decir, allí donde las partículas se mueven con distintas velocidades inferiores a la de la luz) es continuo. Allí pasan las líneas universales macroscópicas medianas, a las cuales corresponden las trayectorias espaciales continuas. Es fácil advertir que, dada la total simetría espacial de los desplazamientos-regeneraciones, después de repetirse éstos muchas veces, la partícula resultará cerca del punto de partida, siendo igual a cero el desplazamiento macroscópico. Por el contrario, si en el espacio se observa cierta asimetría de las probabilidades de los desplazamientos elementales, la trayectoria macroscópica de la partícula y su velocidad macroscópica tendrán significaciones finitas.

Una tendencia ilustrada con semejante esquema convencional de la transición del mundo ultrarrelativista de las transmutaciones al mundo relativista de los movimientos continuos, puede parecer dirigida hacia cierto cuadro transmutacional del mundo, hacia la transformación de las transmutaciones en la imagen inicial del cuadro del mundo. Pero no es así. Más arriba se ha anotado ya que el concepto de transmutación pierde sentido sin el concepto macroscópico de línea universal, cuya forma y longitud permiten determinar la especie de la partícula. El nuevo cuadro del mundo, al cual avanzará la ciencia en el curso de los próximos decenios, resultará mucho más paradójico que cualquier cuadro del mundo que parte de cualesquiera "ladrillos del Universo", sean los desplazamientos de los cuerpos, los cambios de la estructura del campo

o procesos aún más complejos. Este nuevo cuadro arrancará del principio del ser físico que exige la complementación mutua de los procesos ultramicroscópicos y macroscópicos.

Recordemos el sistema autoconcordado de partículas cuya interacción garantiza la existencia de cada una de ellas. El desarrollo ulterior de la ciencia, quizá, confirmará este esquema para las fuertes interacciones. Pero no se excluye que aparezca una teoría física que vincule las propiedades materiales de la partícula con el influjo que sobre ella ejercen todas las partículas que forman la Metagalaxia. El siguiente esquema convencional aclarará esta tendencia posible. La asimetría de las probabilidades de los desplazamientos elementales conduce a la velocidad macroscópica de la partícula no igual a cero. Se podría identificar esta asimetría con el impulso de la partícula y cargar con la responsabilidad por ella a los campos locales vinculados con la distribución desigual de la materia en el espacio que nos rodea. Pero, ¿qué campo es responsable de la simetría, de la dispersión estadística de los desplazamientos elementales que obliga a la velocidad macroscópica de la partícula a ser menor que la velocidad de la luz? Con esta dispersión estadística se mueven las partículas que poseen la masa en reposo. Es lógico que la masa en reposo se identifique con la simetría de las probabilidades de los desplazamientos elementales y se cargue con la responsabilidad por ella a la Metagalaxia homogénea. De la homogeneidad de la Metagalaxia (en la cual son despreciables incluso tales heterogeneidades como las galaxias y las aglomeraciones de galaxias) se desprende que a la partícula se opone desde todos los lados el mismo "espesor" del Universo, lo cual explica precisamente la simetría de las probabilidades de los desplazamientos elementales.

A nuestro juicio, exponiendo estas especulaciones hipotéticas, no rehuimos el tema del pronóstico, no sustituimos la cuestión de a dónde va la ciencia por la de cómo está organizada la naturaleza. Como se ha dicho ya reiteradas veces, las especulaciones mencionadas son ilustraciones convencionales de la tendencia real hacia la unificación de los conceptos

de Cosmos y de microcosmos. Ha terminado un largo período en que el último eslabón del análisis de *rerum natura* eran "ladrillos del Universo" microscópicos. Ahora no sólo la conducta, sino también la existencia de las partículas elementales resulta vinculada con el sistema cósmico autoconcordado que engloba a toda la Metagalaxia.

De ahí algunas peculiaridades del estilo y del ritmo de desarrollo actual de la ciencia. La ciencia misma se vuelve un sistema autoconcordado en que los conceptos de un dominio adquieren sentido sólo si existen los conceptos correspondientes en otros dominios. Hace poco aún se podía hablar de la dinámica de las partículas de una especie sin que surgieran problemas, contradicciones, dificultades, y la necesidad de vencerlas recurriendo a nuevos conceptos: la dinámica de otras partículas. Al tratarse de la teoría única de las partículas, de las altas energías y las transmutaciones que limitan o modifican la dinámica de las partículas dadas, idénticas a sí mismas, de especie determinada, no se puede ya conservar barreras entre las investigaciones dedicadas a las distintas especies de las partículas. Respectivamente, cambia el nexo entre las investigaciones referentes a las distintas interacciones. En el pasado, tales investigaciones se distribuían por esferas relativamente distantes: se interesaban por la gravitación tratándose de los dominios cósmicos; las interacciones electromagnéticas explicaban los fenómenos en un amplio diapasón, comenzando por la geofísica y terminando por la física atómica; al estudiar núcleos se remitían a las interacciones fuertes. Ahora todo eso ha cambiado. El colapso gravitacional se usa no sólo para explicar el destino de los astros, sino también los microprocesos, por ejemplo, la transformación de los *maximones* de Márkov en las partículas que conocemos. Todo ello conduce a una peculiar conexión sin precedentes entre los descubrimientos particulares y la concepción general del Universo. El descubrimiento particular es en muchos casos tan paradójico, que induce a revisar la concepción general. Esto ocurría también antes, pero la inducción mencionada era entonces una "interacción débil": por ejemplo,

entre los experimentos que no confirmaron la existencia del viento etéreo y la teoría de la relatividad media un cuarto de siglo. Actualmente, la discontinuidad del progreso de las ideas fundamentales se atenúa: los intervalos entre las generalizaciones se aproximan a veces a los existentes entre la aparición de los números siguientes de las principales revistas físicas. El progreso de los conocimientos fundamentales es prácticamente ininterrumpido. Por supuesto, generalizaciones fundamentales tan frecuentes no son terminantes, no poseen el predicado de unicidad, no están confirmadas por *experimentum crucis* e incluso no indican a menudo el carácter de tal experimento decisivo. Pero la aparición de una nueva base experimental, sin interrumpir la aparición de las sintetizaciones fundamentales, hará bastante inequívoco este estilo de filosofía de la naturaleza. Por lo demás, la expresión "estilo de filosofía de la naturaleza" probablemente no es justa: las concepciones básicas que aparecen en la actualidad representan, en el fondo, la decantación de cuestiones que se plantearán ante la ciencia con ayuda de medios experimentales, que son objeto de estudio de los dos capítulos siguientes del presente libro.

El torrente ininterrumpido de generalizaciones fundamentales radicales cambia la dinámica de la civilización. Desde el punto de vista de la *perfección interna* einsteiniana de las teorías físicas, los principios fundamentales de la ciencia constituyen un canon objetivo: para que no sean teorías artificiales, introducidas *ad hoc*, deben deducirse lógicamente de los principios fundamentales.

V. Weisskopf delimita en el desarrollo de la ciencia del siglo XX las direcciones "intensivas" y "extensivas". Las primeras son búsquedas de los principios fundamentales. Las etapas principales de las investigaciones intensivas fueron la electrodinámica y la relatividad, la teoría cuántica del átomo, la física nuclear y, por último, la física subatómica. Con el correr del tiempo, cada dirección intensiva va completándose con direcciones *extensivas* que son mucho más numerosas. Así denomina Weisskopf la explicación de los fenómenos

desde las posiciones del principio fundamental que ya se conoce. Dice que incluso en las investigaciones a todas luces extensivas existe el componente intensivo.

En nuestros tiempos, en círculos científicos muy amplios despierta un entusiasmo nuevo con una tensión sin precedente por las investigaciones intensivas, por alcanzar la unidad del cuadro del mundo.

La ciencia contemporánea encontró las transiciones entre dominios que parecían muy distantes, la matematización condujo a la unidad inusitada de los métodos, pero en el dominio más fundamental –en la teoría de las partículas elementales– la matematización tiene que vérselas con un número –en rápido crecimiento– de hechos y campos que hasta ahora se vinculan entre sí muy problemáticamente. La ciencia aspira a la unidad como nunca. La ciencia moderna es una Marta que se preocupa de muchas cosas, pero quiere ser María, consagrada a lo único. Mas, por lo visto, ahora "lo mucho" y "lo único" están enlazados de modo muy distinto que antes.

Se puede pensar que el pronóstico para el año 2000 debe arrancar de la nueva correlación entre las investigaciones intensivas y las extensivas, de la mencionada "interacción fuerte" entre unas y otras. Al ponerse en funcionamiento una nueva generación de aceleradores de partículas y realizarse las posibilidades vinculadas con las investigaciones astrofísicas y astronómicas transatmosféricas y extraterrestres, se creará una situación en que una nueva idea fundamental induzca en un plazo muy breve a las investigaciones extensivas. Estas últimas, a su vez, conducirán a menudo a los problemas fundamentales, con la particularidad de que las nuevas posibilidades de experimentación permitan esperar no muy largo tiempo el *experimentum crucis* para una u otra solución de estos problemas.

Las investigaciones extensivas abren nuevos ciclos ideales. Estos últimos sirven de cánones objetivos al progreso técnico, su evolución prácticamente ininterrumpida lleva a la aceleración prácticamente ininterrumpida del progreso. Si cambian los principios fundamentales (cánones objetivos a

que tienden las investigaciones extensivas), el progreso técnico adquiere una aceleración creciente.

No se debe pensar que el acrecentamiento de la aceleración será monótono. El desarrollo de los principios fundamentales –desarrollo en dirección intensiva– no conservará intervalos típicos de la primera mitad del siglo XX (teoría de la relatividad, mecánica cuántica, teoría del núcleo, problemas subnucleares); estos intervalos, probablemente, se reducirán, conservándose, empero, cierta sucesión cíclica. Los virajes de escala tal como la creación de la teoría de la relatividad no se producirán cada año. El efecto de semejantes virajes consiste en el crecimiento ininterrumpido de la aceleración del progreso, porque cada viraje fundamental acelera durante cierto período el ritmo de las investigaciones extensivas.

Por eso no se debe pensar tampoco que la "interacción fuerte" de las investigaciones básicas y extensivas suponga su fusión o cofusión. Las investigaciones que cambian los principios de partida, los ideales y el estilo de la ciencia; que dan un efecto indeterminable en principio y, más bien, lejano, se mantendrán aisladas en cierta medida. A este respecto, quisiéramos hacer una observación sobre el tipo de científico, en esta época, cuando el sistema autoconcordado de las investigaciones intensivas y extensivas encauza sus esfuerzos a conocer el sistema autoconcordado del Cosmos y del microcosmos. En los medios científicos se lamenta a veces que ha desaparecido el tipo del científico "anacoreta" que escala las cumbres abstractas del pensamiento, donde no se oye el ruido polifónico de la ciencia extensiva. Nos parece que este tipo no desaparecerá y, más aún, será más frecuente que ahora.

Por supuesto, el "anacoreta" de fines del siglo XX se distinguirá de su prototipo existente en la primera mitad del siglo. Los dos son "anacoretas" en un sentido muy específico. Se trata de la posibilidad de hacer avanzar mucho los principios de la ciencia en las condiciones de "interacción débil" con un gran número –en rápido crecimiento– de problemas

particulares y resultados particulares. No lo contradice ni el interés personal del pensador por algunos problemas particulares, ni la orientación general sobre la posibilidad de comprobar la teoría por vía experimental ("justificación externa"). Einstein se interesó por decenas de problemas científicos particulares (por ejemplo, la causa del derrubio de la orilla derecha de los ríos que fluyen al sur) y por decenas de inventos técnicos (no sólo cuando prestó sus servicios en la Oficina de Patentes de Berna). No obstante, era "anacoreta" en el sentido de que el punto de partida de la teoría de la relatividad consistía en un número muy reducido de experimentos. Recordemos, además, que Einstein afirmaba que el electrón –nada más que el electrón– era suficiente para deducir las regularidades generales del micromundo (anotemos entre paréntesis que esto era justo para el período de 1924 a 1927, cuando se creaban las mecánicas ondulatoria y cuántica).

La situación actual es distinta. La tarea que consiste en unificar lo que se conoce sobre las distintas especies de partículas no puede cumplirse, en conjunto, basándose en las leyes de la conducta, el surgimiento y la desintegración de partículas de la misma especie. No obstante, cada propiedad paradójica innata a una o varias especies de partículas induce a reflexionar sobre la naturaleza del espacio y el tiempo, sobre su simetría, su descontinuidad y continuidad, sobre los conceptos lógicos y matemáticos; sobre lo que distingue el ser físico de las imágenes geométricas. Es el mismo efecto de los descubrimientos astronómicos y astrofísicos. Por eso, la "interacción débil" con la ciencia extensiva seguirá en pie, por lo visto, conservándose, por tanto, el tipo de científico "anacoreta".

Como se ha dicho ya, este tipo de científico puede difundirse más. Los ciclos de las investigaciones extensivas, provocados por el avance intensivo hacia nuevos principios fundamentales, producen la modificación lógica de los intereses predominantes en la ciencia. Puede servir de ejemplo el ciclo iniciado por el modelo de átomo de Bohr. Al proponerse este modelo, comenzaron las investigaciones extensivas que expli-

caron los espectros de los átomos, la valencia, la periodicidad y sus alteraciones en el sistema de elementos y otras muchas regularidades. Este ciclo continúa, plegándole otros ciclos posteriores, que crearon la física nuclear. En general, la sucesión de los ciclos extensivos, uno tras otro, aumenta la continuidad práctica del influjo de la ciencia sobre el progreso de la civilización. Pero a comienzos de la década del veinte, no obstante seguir empleando el modelo de Bohr, empezó a percibirse con nitidez la necesidad de unos principios nuevos, que fueron encontrados en 1924-1926 por pensadores vinculados a veces por una "interacción débil" con las *aplicaciones* del modelo de Bohr, y que en este sentido eran "anacoretas".

Con el problema de las interacciones débil y fuerte entre los principios fundamentales y las investigaciones particulares, y con el problema del científico "anacoreta", está ligada una cuestión netamente sicológica que se aclara del mejor modo en el ejemplo de Einstein.

Todo el que haya tenido conocimiento de la teoría de la relatividad y atravesado la espesura de las construcciones matemáticas y físicas, de los experimentos reales y mentales, de las inabarcables confirmaciones y aplicaciones empíricas y de las tareas particulares, ha sentido ese inolvidable encuentro con el simple y, a la vez, más complejo enigma del movimiento de un punto material en el espacio vacío que lo rodea. Aquí no hay ni diversidad de partículas elementales, ni jerarquía multiescalonada de átomos, moléculas, cuerpos microscópicos, planetas, astros y galaxias, ni distintos campos: gravitatorios, electromagnéticos, nucleares, etc.; aquí no hay nada que no sea espacio y la partícula que se mueve en él, ayuna de otros predicados. ¿Qué significa su movimiento, cuál es el sentido de este concepto, faltando otros cuerpos, y qué significa el ser de la partícula? Es un interrogante incomparablemente más profundo y difícil que multitud de interrogantes particulares, referentes a las partículas concretas de distinta especie, que forman parte de los sistemas concretos complejos y están enlazadas por las complejas y diversas interacciones. Este interrogante parece aislado de dichas cues-

tiones particulares y, respectivamente, las meditaciones sobre la naturaleza del ser y del movimiento requieren, por lo visto, que el pensador se aísle de los elementos de las investigaciones particulares. El pensador debe quedarse a solas con los enigmas y contradicciones más generales del ser. Debe ser un anacoreta.

No cabe duda de que la sicología de Einstein se caracteriza por esa tendencia. Sus palabras sobre el puesto de guardián de un faro como situación óptima del científico, su afán constante –señalado por Infeld y otros– de reflexionar en la soledad, de ensimismarse, no revelaba sólo los rasgos individuales del pensador, sino también cierto aspecto del estilo de la ciencia del siglo XX. Pero precisamente un aspecto, nada más que un aspecto. El aspecto que no podía existir sin otro aspecto. Sin una profunda y activa sumersión en el cuadro de las investigaciones particulares, cuadro abigarrado y, a primera vista, consistente de manchas aisladas. Esta naturaleza ambivalente, contradictoria, del pensamiento científico, está vinculada con la diferencia indudable y la conexión indudable entre la "perfección interna" y la "justificación externa" de la teoría científica. Para elevarse a los principios más generales, de los que dimanan lógicamente nuevos resultados paradójicos, es necesario este vistazo sintético a la naturaleza en conjunto, que descubre el sustrato del mundo, independiente de las series aisladas de fenómenos. Tales eran las consideraciones de Einstein y, más tarde, de Minkowski sobre la falta de equivalentes físicos del espacio tridimensional y sobre la realidad física del espacio-tiempo cuatridimensional. Pero elevándose a los problemas generales y como alejándose de los problemas concretos y particulares, el pensamiento científico no puede separarse de estos últimos, porque los problemas generales se modifican a base de la "justificación externa", a base de la empiria, a base de los hechos paradójicos. Las reflexiones sobre el espacio y el tiempo condujeron a una síntesis nueva, imposible sin nuevas observaciones ópticas y electrodinámicas, de los conceptos clásicos; los hechos paradójicos recibieron una explicación natural en el marco de la

teoría paradójica; toda la génesis y todo el desarrollo de la ciencia no clásica confirmaron la tesis sobre el necesario acompañamiento sensual, empírico y heterogéneo del pensamiento racionalista.

De ahí la posición contradictoria de Einstein: aspiraba a la soledad y se hacía eco de multitud de resultados experimentales y teóricos más diversos, se hacía eco incluso de acontecimientos no vinculados inmediatamente con la ciencia, siendo, en fin de cuentas, el físico más próximo a un número extraordinariamente amplio de gentes. Este no es tampoco un rasgo individual, en todo caso, no sólo individual. La ciencia moderna origina en sus representantes –y no sólo en ellos, sino también en los círculos más amplios– dos rasgos sicológicos interrelacionados. El científico contemporáneo aspira a ponerse por encima de una gran variedad de hechos y quedarse de cara a los problemas más generales del ser, presta atención, como nunca antes, a todo lo que se opera en la ciencia, y no sólo en el campo a que se dedica, sino también en campos más alejados de donde pueden llegar nuevos hechos y nuevas especulaciones lógicas. Por lo visto, estos rasgos sicológicos del científico de nuestra época irán enlazándose cada vez más a medida que la ciencia se vaya aproximando a su ideal contemporáneo, a la concepción única de *rerum natura,* que abarca la base empírica, increíblemente ampliada y complicada de la ciencia no clásica.

Actualmente, los principios fundamentales de la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica y la mecánica cuántica relativista han inducido un ciclo muy grande de investigaciones extensivas y descubrimientos que, junto con estos principios, forman la física atómica y nuclear. Pero un número cada vez mayor de aporias, contradicciones y dificultades incita al pensamiento científico a buscar nuevos principios. Por lo visto, tal viraje se irá acentuando en el curso de los próximos decenios. Los pensadores que entregan sus fuerzas al problema de los *quarks,* al problema de la discontinuidad del espacio, al problema de la diferencia entre las propiedades sustancionales de la partícula y su línea universal y al

problema del Universo finito o infinito son "anacoretas" en un sentido que no tiene nada de común con el aislamiento intelectual. Pues semejantes problemas son cuestiones que se plantearán ante la naturaleza, quizás, resulten privadas de sentido, pero se resolverán de una u otra manera mediante grandes trabajos colectivos experimentales, teóricos y de cómputo.

LA FISICA DE ALTAS ENERGIAS

Al comienzo del presente libro se habló de un pronóstico complejo, que incluye varios cambios interconexos en la energética, la tecnología y el mando de los procesos de producción, y en el carácter del trabajo. Estos cambios, unificados por el término convencional de "siglo atómico", están vinculados inmediatamente, si se sigue usando la terminología de Weisskopf, con las investigaciones extensivas, que crearon la física atómica y nuclear y que fueron inducidas por el avance intensivo de la ciencia hacia los principios relativistas y cuánticos. Pero el siglo atómico, lo mismo que todo período de la civilización, debe comprender las direcciones del pensamiento científico que preparen el período siguiente, más elevado.

En el curso del siglo atómico, esta preparación está relacionada con la dirección intensiva de la ciencia: las búsquedas de nuevos principios fundamentales que deben inducir la física subnuclear.

La física subnuclear es la física de las partículas que figuran o no en los núcleos atómicos, pero que se encuentran en el mismo peldaño de la escalera jerárquica de las partes discretas de la sustancia que los nucleones. Son partículas que, a diferencia de cuerpos discretos más grandes, a diferencia de las moléculas, átomos y núcleos atómicos, no se desintegran, quizás, en eslabones inferiores de la jerarquía que existían ya en su composición. Su desintegración y nacimiento no se reducen en este caso al reagrupamiento espacial de las subpartículas idénticas a sí mismas. No sabemos aún a qué

se reducen. Tampoco sabemos dónde se sitúan los encuentros, dispersiones y transmutaciones de las partículas. Por lo demás, no sabemos si tiene sentido la cuestión de la localización exacta de estos acontecimientos. No podemos afirmar más que estos acontecimientos se producen en células tiempo-espaciales muy pequeñas, en un espacio del orden de las dimensiones lineales del núcleo atómico y en el curso de intervalos de tiempo necesarios a la luz para que recorra tal espacio. Aquí, quizás, se encuentra el umbral tiempo-espacial que nos conduce, al atravesarlo, a un mundo donde el curso de los acontecimientos ultramicroscópicos se subordina a principios más generales y exactos que los conocidos hasta ahora. Puede ser que este umbral esté más lejos, y que el mundo ultramicroscópico, donde podemos encontrar nuevas soluciones de los problemas fundamentales del ser, se encuentra en células tiempo-espaciales menores en muchos órdenes. En todo caso, la vía hacia los nuevos principios fundamentales, hacia su "justificación externa" pasa por el estudio experimental de campos muy pequeños donde se operan procesos que, a nuestro parecer, son ultrarrelativistas.

Para eso se necesitan energías muy grandes de las partículas con que se manipula el experimentador.

El paso que la física hizo de las teorías atómico-moleculares del siglo XIX a la física atómica y, más tarde, a la física nuclear y subnuclear, es el paso de energías de centésimas de electronvoltios a energías que se miden en electronvoltios y, luego, en millones y miles de millones de eV. Los átomos de la física y la química clásicas, durante su movimiento térmico, intercambian energías del orden de 0,01 eV; se comportan en este proceso como bolitas sólidas. La radiación electromagnética de los átomos, que revela su estructura, posee una energía de unos cuantos eV en el campo óptico a varios centenares de miles de eV en la emisión de los rayos X. La estructura nuclear se revela en procesos que requieren una energía de millones de eV. A partir de los comienzos de la década del treinta existe una peculiar cooperación en la física nuclear, y luego en la subnuclear, entre los aceleradores que

comunican altas energías a las partículas (desde los años treinta hasta nuestros tiempos, estas energías han crecido de centenares de miles a decenas de miles de millones de eV) y los aparatos con cuya ayuda se estudian los rayos cósmicos. Estos últimos son flujos de partículas de diversa especie y diversas energías, que se precipitan hacia la Tierra desde todos los lados del espacio universal. Las partículas de la radiación cósmica tienen a veces colosales energías inalcanzables en los aceleradores; pero es más difícil manipular con ellas y en la mayoría de los casos, las nuevas partículas y los nuevos procesos se los descubría en los rayos cósmicos para estudiarlos luego con más detalle con ayuda de aceleradores. Por lo demás, en las décadas del cincuenta y del sesenta, los aceleradores permitieron, en varios casos, descubrir independientemente nuevas partículas y procesos. La energía de las partículas de la radiación cósmica, utilizadas en nuevos descubrimientos, crecía sin cesar y, a partir de los años treinta, se ha incrementado, más o menos, en la misma relación que la energía de las partículas en los aceleradores. A principios de este período, en los rayos cósmicos se descubrió el positrón, cuya existencia fue predicha por la mecánica cuántica relativista. El descubrimiento y el estudio del positrón no exigían energías muy altas, pues la masa del positrón (igual a la del electrón) es pequeña y para superar la energía en reposo del electrón y del positrón, correspondiente a esta masa, se necesitan energías del orden de un millón de eV; pero al surgir y desintegrarse los nucleones y otras partículas, más pesadas aún, se generan energías del orden de miles de millones de eV. Actualmente, el campo de energías en el que se realizan investigaciones intensivas de los rayos cósmicos ha ascendido a billones de eV, y los aceleradores comunican a las partículas energías de hasta 76 mil MeV. Tal es el acelerador más grande de protones, construido hace poco en la ciudad de Sérpujov (URSS). Grandes aceleradores funcionan en Bruckhaven (33 mil MeV), Ginebra (28 mil MeV) y Dubná (10 mil MeV). Para dar una idea de su construcción se necesita una información histórica, aunque sea muy breve.

A principios de los años treinta fueron construidos aceleradores lineales donde las partículas cargadas se desplazaban en el campo eléctrico en línea recta, adquiriendo una velocidad cada vez mayor. Casi al mismo tiempo aparecieron los aceleradores cíclicos: ciclotrones. En ellos, la partícula cargada se desplaza describiendo un círculo en el campo magnético perpendicular al plano en que gira. La partícula atraviesa los tramos en que existe el campo eléctrico, y aquí, este campo aumenta cada vez la velocidad y, respectivamente, la energía de la partícula que se mueve como en espiral, más exactamente, en circunferencias de radio cada vez mayor y, por eso, a pesar de su velocidad creciente, atraviesa los tramos aceleradores en intervalos iguales de tiempo. Procediendo de este modo, a las partículas se les comunicaban energías del orden de diez millones de eV.

Pero, siendo altas las energías, entran en juego las correlaciones de la teoría de la relatividad: la dependencia de la masa respecto de la velocidad. La masa de la partícula crece, alterando el sincronismo de sus desplazamientos a través de los tramos aceleradores y el máximo del campo eléctrico de alta frecuencia en estos tramos. V. Veksler (en 1944) y McMillan (en 1945) propusieron compensar el aumento relativista de la masa de las partículas con el correspondiente crecimiento del campo magnético o la disminución de la frecuencia del campo eléctrico en los tramos aceleradores. En la década del cuarenta, la masa relativista de las partículas en los aceleradores empezó a adquirir magnitudes muy grandes. En los betatrones –aceleradores de electrones–, que aparecieron en 1940, la velocidad de estos últimos, dada la energía de dos MeV, constituye 0,98 de la velocidad de la luz, y la masa pasa a ser considerablemente mayor que la de reposo. Pero incluso partículas tan pesadas como son los protones experimentan un considerable aumento de su masa, siendo grandes las energías empleadas en los años cuarenta y posteriormente. La posibilidad de compensar el efecto relativista condujo a la aparición de aceleradores muy potentes que se valen de esto. Entre ellos figuraban sincrotrones y

otros aceleradores cíclicos, que comunicaban a los protones energías equivalentes a miles de millones de eV. Con ayuda de los aceleradores, por una parte, y las observaciones sobre las partículas de la radiación cósmica, por la otra, se descubrieron infinidad de partículas nuevas y de procesos de desintegración y aparición de estas partículas.

Las esperanzas de que la teoría de las partículas elementales explique esta diversidad, partiendo de un principio único y, por lo visto, absolutamente nuevo, se ligan con aceleradores que comuniquen a las partículas energías aún más altas. Se trata de cuestiones fundamentales, a las cuales, como esperamos, contestarán los experimentos con participación de partículas poseedoras de energías de 200-1.000 mil MeV. El pronóstico para los próximos decenios consiste precisamente en enumerar estas cuestiones y dar una apreciación provisional del efecto de su solución. En este pronóstico falta el eslabón principal: previsión de la solución misma, respuestas de la naturaleza a las preguntas que se le plantea. Son indeterminados en igual medida y, quizás, más aún, los razonamientos sobre el efecto de estas soluciones. Como señala Bruno Pontecorvo, el carácter fundamental de la física de las partículas elementales engendra descubrimientos inesperados en este dominio. "Por eso –dice–, el problema de aplicar en la economía nacional los resultados de las investigaciones realizadas, digamos, en el acelerador dado de alta energía casi carece de razón de ser"[24]. En efecto, para las investigaciones extensivas, los descubrimientos pueden predecirse, en parte, porque ellas siguen una línea de principios e ideales de la ciencia conocidos ya, y su finalidad consiste en explicar los fenómenos a la luz de dichos principios. Pero, ¿si la finalidad de la investigación consiste precisamente en buscar principios nuevos?

De ahí se desprende, al parecer, que la *argumentación* del plan de construcción de nuevos aceleradores, más potentes, sea un problema insoluble en principio. No se debe entender por argumentación la simple referencia a la comunidad y

[24] *Exitos de las ciencias físicas*, 1965, vol. 86, fascículo 4, pág. 729.

profundidad de las cuestiones que la física de las altas energías plantea ante la naturaleza. Hay que mostrar que esta comunidad y esta profundidad, dada toda la incertidumbre de las respuestas posibles, caracterizan el lugar que corresponde a la física de altas energías entre las fuerzas que aseguran el desarrollo de la civilización. Por lo visto, la deducción de los agregados de la civilización, su transformación en agregados *dinámicos* y la inclusión en ellos de las derivadas temporales de distinto orden permiten encontrar tal lugar.

Desde este punto de vista, precisamente, echemos un vistazo a las cuestiones que debe resolver (y, además, confirmar o rechazar su sentido mismo) la física de altas energías.

La primera cuestión atañe a los límites de la explicación tiempo-espacial, y en el plano general, relativista, de la naturaleza. Probablemente, esta cuestion de los límites de la causalidad relativista coincide con la discontinuidad del espacio-tiempo. Semejante discontinuidad tiene sentido físico en el espíritu del "principio del ser", es decir, no se reduce al problema geométrico del espacio abstracto discontinuo, si en ciertas células mínimas se producen acontecimientos irreductibles al movimiento de las partículas. Por eso, la primera cuestión se transforma lógicamente en la segunda: ¿en qué consisten los acontecimientos ultrarrelativistas que ponen límite a la causalidad relativista en campos muy pequeños y cómo están vinculados estos acontecimientos con los procesos relativistas en campos grandes?

Semejates cuestiones están ligadas a lo siguiente: ¿por qué en la naturaleza unas partículas interaccionan de un modo y otras de modo distinto?, ¿por qué unas partículas –protón, neutrón y electrón– forman la materia que nos rodea, mientras que otras partículas, comprendidas sus antipartículas, casi no se encuentran en condiciones habituales?, ¿por qué poseen las partículas precisamente tales masas y cargas y no otras?, en una palabra, ¿por qué el micromundo (y también el Cosmos) es tal y no distinto? Este interrogante es análogo al planteamiento de Kepler: ¿por qué entre los planetas y el Sol median tales distancias y no otras? Es análogo más aún a la

cuestión: ¿por qué poseen los elementos tales valencias y pesos atómicos y no otros? La mecánica cuántica respondió a esta cuestión explicando por qué los electrones se disponen en número determinado en cada una de las órbitas, por qué se altera la periodicidad correcta, etc. La teoría de las partículas elementales no ha dado más que los primeros pasos para construir un sistema análogo al de Mendeléiev. Ha alcanzado ya su primer éxito: el vaticinio de algunas partículas se basó en la sistematización hipotética de las partículas en interacción fuerte y, más tarde, se descubrieron por vía experimental[25]. Pero el sistema de partículas elementales, que por su alcance equivale a la tabla de Mendeléiev físicamente descifrada, requiere que se franquee un nuevo umbral energético.

Pedimos excusas al lector por aducir en un libro de filosofía del optimismo datos que son propios de la física. Pero ¿qué le vamos a hacer? El optimismo contemporáneo y la filosofía contemporánea del optimismo se apoyan en tendencias muy concretas y, a la vez, muy generales de la ciencia, la técnica y la economía; y en ello consiste su gran ventaja. En el prefacio de *El Capital,* Marx decía que en la ciencia no hay caminos anchurosos y que se puede escalar sus cumbres sólo siguiendo senderos pedregosos. Comprendidas las cumbres que permiten ver el futuro de la civilización.

En cuanto a la economía, los aceleradores superpotentes requieren gastos muy grandes, comparables con los que se hacen para construir importantes complejos industriales, y su fabricación influye en cierta medida sobre la estructura de las inversiones básicas en conjunto. Es un viraje muy radical en el curso del desarrollo de la civilización. Desde los tiempos de Arquímedes hasta nuestros días, la humanidad invirtió en la ciencia una suma menor que el valor de lo que la industria moderna produce en diez días. El siglo atómico es el siglo en que las investigaciones científicas, especialmente las físicas,

[25] Véase M. Gell-Mann, A. Rosenfeld, G. Chew. *Exitos de las ciencias físicas,* 1964, vol. 83, fascículo 4, pág. 695; W. Fowler, N. Samios. *Exitos de las ciencias físicas,* 1965, vol. 85, fascículo 3, pág. 523.

son comparables por el valor con los componentes del balance de las inversiones básicas. Por supuesto, no se debe pensar que los gastos para las investigaciones físicas crecerán ilimitadamente al ritmo actual o con aceleración. Esto significaría que la superficie ocupada por las instituciones científicas superara, en fin de cuentas, la superficie de la Tierra, que el número de científicos superara el de los habitantes del planeta, y que el peso de los volúmenes de la revista física, de que habla Oppenheimer[26] superara el peso del globo terráqueo. Como hemos visto, a conclusiones análogas conduce la extrapolación de muchos índices aislados que han crecido con gran rapidez en los últimos años o últimos decenios. Pero durante los años del setenta al noventa, el crecimiento de las inversiones en investigaciones básicas seguirá siendo muy intensivo. Dichas inversiones son ya del mismo nivel que las que se hacen en algunas ramas importantes de la industria. Esto convierte, en cierta medida, la física en ciencia económica: los pronósticos científicos, que han pasado a ser parte integrante de la física, deben tomar en consideración la estructura óptima de las inversiones en la economía nacional. Esto, a su vez, hace un tanto físicas la teoría y la práctica económicas: los pronósticos económicos y la planificación de las inversiones deben tener presentes las tendencias objetivas de la física.

Por lo visto, es indiscutible la necesidad de la física de altas energías y de construcción de aceleradores que comuniquen a las partículas energías de 200-1.000 mil MeV. Los principales argumentos expuestos en los últimos tres o cuatro años apuntan, ante todo, a las inversiones de la física de altas energías como condición del progreso de la civilización. A este respecto Schwinger[27] menciona una comparación histórica muy interesante. A fines del siglo XIX existía una tendencia enfilada contra la deducción de las propiedades macroscópicas de los cuerpos de su estructura atomística, que a la sazón

---

[26] R. Oppenheimer. *The Flying Trapeze.*

[27] J. Schwinger. *Exitos de las ciencias físicas,* 1965, vol. 86, fascículo 4, pág. 614.

era hipotética (es posible que Schwinger se refería a la posición de Mach y Ostwald). A despecho de las dudas, la ciencia gastaba sus recursos materiales e intelectuales en las búsquedas experimentales para comprobar la existencia de los átomos. Esto condujo a una nueva etapa en la ciencia y al triunfo de la atomística. Actualmente tenemos esbozados nuevos contornos hipotéticos del microcosmos; renunciar a su comprobación experimental significa renunciar a que la ciencia se eleve a un peldaño nuevo.

R. Oppenheimer[28] adelanta un argumento muy "einsteiniano". El progreso de la ciencia y su penetración en campos tiempo-espaciales cada vez menores es la base de la cosmovisión racionalista. A su juicio, sin la sucesiva penetración en el campo de lo infinitamente pequeño, puede suceder que esta vez los esfuerzos no culminen con el triunfo de la razón humana.

Semejantes argumentos confirman que la física de altas energías es necesaria. Los razonamientos propiamente físicos fundamentan las direcciones de las inversiones, la construcción de aceleradores de unos u otros parámetros. Si hubiéramos dibujado el diagrama de la intensidad del campo magnético, la longitud de la circunferencia de la cámara al vacío, el incremento de la energía de las partículas en una vuelta, etc., los razonamientos físicos habrían podido determinar la combinación óptima de los parámetros, la dirección óptima del vector en el espacio de las variables enumeraciones. Pero ¿de qué depende la envergadura de las inversiones y la velocidad del desenvolvimiento de la base experimental de la física de altas energías? ¿Cómo se puede argumentar el ritmo de la puesta en acción de aceleradores de 200-1.000 mil MeV? Ni argumentos generales ni razonamientos físicos responden a esta cuestión. Es evidente a todas luces también que las inversiones en la física de altas energías, que provocasen una disminución del ritmo de crecimiento de las condiciones experi-

[28] R. Oppenheimer. *Exitos de las ciencias físicas*, 1965, vol. 86, fascículo 4, pág. 597.

mentales, industriales y culturales de la nueva etapa de la ciencia, serían irracionales. En última instancia, tales condiciones comprenden todo el balance de inversiones básicas. Por eso, las inversiones en la física de altas energías deben constituir un componente del balance económico *óptimo.*

Todo habría sido muy sencillo, si hubiésemos podido determinar el efecto económico cuantitativo de las investigaciones básicas y, partiendo del efecto máximo, encontrar la proporción de las inversiones en la física de altas energías en el balance óptimo de inversiones. Pero eso es imposible. Cuando decimos que la ciencia fundamental garantiza el incremento de la aceleración de la productividad del trabajo, esta magnitud sigue siendo un símbolo que por ahora no puede cuantificarse.

No obstante, el ritmo del desarrollo de la física de altas energías se determina por el interrogante: "¿para qué?" Este interrogante se refiere –en el sentido, que ya conocemos, del incremento máximo de los indices dinámicos de la civilización– a la construcción de aceleradores, por lo cual podemos atribuir efecto económico a las investigaciones básicas. El concepto de efecto económico, como hemos visto, se transforma y sintetiza, se hace dinámico e incluye los índices de la velocidad y aceleración del crecimiento de las fuerzas productivas.

Pero el efecto económico no se limita a estos coeficientes cuantificables (siempre dentro de ciertos límites, con inevitable indeterminación de las variables económicas que acabamos de mencionar). Más arriba se ha dicho que el incremento de la aceleración de la productividad del trabajo (el paso a coeficientes más altos de aceleración) es una magnitud que no admite la cuantificación, no la admite *por ahora.* Pero del mecanismo de la aceleración se deduce, con toda la certidumbre posible en tales cuestiones, la siguiente conclusión cualitativa: las investigaciones intensivas provocan ciclos de aceleración de las investigaciones extensivas y de sus resultados, esto es, de renovación acelerada de los esquemas físicos ideales que sirven de cánones objetivos del progreso técnico.

EL COSMOS

El libro de A. Fridman *El mundo como espacio y tiempo*, escrito en 1923 y que constituye una de las más brillantes exposiciones de la teoría de la relatividad, tiene el siguente epígrafe, que es un fragmento tomado del libro satírico de parodias *Materiales históricos de Fedot Kuzmich Prutkov:* "Una vez, cuando la noche había cubierta con su manto el cielo, y el filósofo francés Descartes, sentado al pie de la escalera de su casa, observaba con profunda atención el horizonte sombrío, cierto transeúnte le inquirió: *"Dime, o sabio, ¿cuántas estrellas habrá en ese cielo?" "¡Canalla!* – contestó Descartes–. *¡Nadie puede abarcar lo inabarcable!"* Estas palabras, pronunciadas con grandísimo ardor, produjeron en el transeúnte el efecto deseado".

En las líneas subsiguientes, Fridman dice que "entre la humanidad pensante siempre hubo transeúntes curiosos y pensadores más amables que Descartes que trataban de reproducir el cuadro del mundo basándose en datos científicos siempre insignificantes"[29]. En los decenios restantes del siglo XX, estos amables sabios podrán contestar a las preguntas de los transeúntes curiosos, basándose en datos no ya tan insignificantes. Pero ahora no se trata sólo de contar el número de cuerpos discretos que hay en el Universo. El problema cosmológico no es sólo y, quizás, no tanto un problema de cuerpos discretos que interactúan, cuanto un problema de campos distintos por su naturaleza. La diferencia más esencial consiste en que ahora, sin especulaciones teóricas que engloben la Metagalaxia en conjunto, no se puede avanzar con suficiente rapidez en los dominios fundamentales de la ciencia que imprimen a nuestra época el dinamismo que la caracteriza.

El cuadro clásico de los cuerpos en interacción –astros, planetas y cometas– fue resultado de la primera revolución astronómica producida por el telescopio. Cuando, en 1610,

[29] A. Fridman. *El mundo como espacio y tiempo*, 2ª ed. en ruso, Moscú, 1965, pág. 5.

Galileo dirigió su anteojo de larga vista al cielo, descubriendo la naturaleza discreta de la Vía Láctea y otros hechos anteriormente desconocidos, que publicó en sus observaciones en el *Sidereus Nuntius,* comenzó el período de comprobación, interpretación teórica y concretación del sistema de Copérnico: del cuadro de los cuerpos en interacción sin "desplazamientos naturales" de la cosmología peripatética.

La nueva revolución astronómica, comenzada a mediados del siglo XX y que aún continúa, con todas las probabilidades de prolongarse hasta fines del siglo, y, quizás, hasta principios del siglo XXI, conducirá, por lo visto, a la confirmación y la concretación de la cosmología relativista: del cuadro del espacio que posee una curvatura cuyo radio cambia con el correr del tiempo. Con la particularidad de que la nueva revolución astronómica permitirá ver en este espacio el juego de los campos en interacción, la existencia y la conducta de los cuantos de estos campos, de sus partículas elementales.

La segunda revolución astronómica toma como idea de partida más general el modelo relativista de la Metagalaxia y trata de vincularlo ya no sólo con la gravitación, sino también con los distintos tipos de campos. En cuanto a los medios de observación, el punto de partida de la nueva revolución astronómica consiste, primero, en la observación desde satélites y naves cósmicas y, segundo, en la sustitución, o más bien, en la dotación del ojo del hombre con aparatos astrofísicos que captan las ondas electromagnéticas no sólo en la gama óptica, sino también en otras, así como los flujos de diversas partículas que no constituyen radiación electromagnética.

Los satélites artificiales de la Tierra y las naves cósmicas permitieron ya observar las radiaciones de los objetos astronómicos sin los impedimentos que pone la atmósfera terrestre. Un pronóstico muy fidedigno para el año 2000 promete observaciones desde la superficie de la Luna, Mercurio, Venus y Marte o desde órbitas cercanas a ellos. La posibilidad de transportar aparatos astronómicos y astrofísicos a los planetas del grupo terrestre es el punto de partida de los pronósticos del desarrollo de la astronomía para el año 2000. Actual-

mente, en los cohetes cósmicos no se utiliza aún la energía nuclear. Pero esta utilización figura en los pronósticos para el año 2000. En este sentido, la cosmonáutica, que posee ahora una base energética independiente (por eso, precisamente, es legítimo agregar la palabra "cósmica" al término "época atómico-cósmica" que se usa a menudo), experimentará más tarde el efecto de resonancia de la energética nuclear y dependerá de su progreso.

Existe también otro nexo, mucho más sutil, entre las perspectivas de la astronomía y de la física nuclear. Trátase de las reacciones nucleares conocidas por la física, que se usan para explicar los resultados de las observaciones astrofísicas.

En la astrofísica moderna, casi toda generalización, casi toda concepción nueva y casi todo resultado importante de la observación representan no sólo una comprobación hipotética referente a la estructura del Universo, sino también, con ello, una especulación hipotética sobre un desarrollo tal de la astrofísica y la astronomía que confirme y precise la hipótesis expuesta u obligue a renunciar a ella. Por eso, la enumeración de los problemas e hipótesis de la astrofísica y la astronomía modernas constituye cierto pronóstico esquemático del desarrollo de la ciencia misma.

Este pronóstico parte de las observaciones ya hechas, de las concepciones ya expuestas y de los problemas ya formulados. Al mismo tiempo, todo pronóstico en este dominio comprende la inevitabilidad de nuevas observaciones y de resultados nuevos en principio. Semejante inevitabilidad es el componente más fidedigno del pronóstico, aunque no proporciona elementos concretos. Pues sólo acabamos de entrar en la época de las observaciones extraterrestres y del estudio de gamas no ópticas. Las nuevas observaciones plantearán ineludiblemente nuevos problemas y modificarán la evolución de la astrofísica y la astronomía.

Nos persuadimos una vez más de que el pronóstico científico es, en el plano general, una tangente a la curva real, tangente que indica la dirección de la curva, que puede cambiar en el momento siguiente. Esto no disminuye en absoluto la

importancia teórica ni práctica de los pronósticos. En la ciencia contemporánea, la hipótesis constituye, más que nunca, una condición necesaria para el pronóstico de conocimientos positivos fidedignos. En física de las partículas elementales, el período actual es de meditación sobre las soluciones que se buscarán en la naturaleza con ayuda de la nueva generación de aceleradores. En la astrofísica, el período actual requiere reflexionar sobre cuestiones que se plantearán ante la naturaleza con ayuda de telescopios y receptores astrofísicos de las radiaciones en los satélites, en la Luna y, más tarde, en los planetas del grupo terrestre. Estas cuestiones de la teoría de las partículas elementales y de la astrofísica coinciden en muchos aspectos. Pero unas y otras se preparan en forma de hipótesis físicas y astrofísicas que, a la vez, son pronósticos *grosso modo* del desarrollo de la ciencia. Estos pronósticos e hipótesis, en cuanto a su efecto práctico, elevan el potencial intelectual de la ciencia, y esto lleva a una aceleración incuantificable pero cierta del progreso de la civilización.

Para elevar el potencial intelectual de la ciencia tiene gran significado la apelación inevitable a las hipótesis cosmológicas generales al estudiar los problemas astronómicos y astrofísicos. De un gran número de cuestiones cardinales de la estructura del Universo en conjunto estudiaremos las siguientes: 1) la homogeneidad del Universo, 2) su finitud o infinitud, 3) su expansión, 4) su estado antes de la expansión y 5) la simetría o asimetría del Universo en el sentido de contener igual o desigual cantidad de partículas y antipartículas.

A primera vista, la bóveda celeste revela una distribución heterogénea de las masas. En los astros, la sustancia se diferencia bruscamente, por su densidad, del medio interestelar. Los astros están agrupados en galaxias donde la densidad media, como es lógico, es mayor que la de los espacios intergalácticos. El Sol forma parte de una Galaxia constituida por cien mil millones de astros. Luego siguen los espacios sin astros y, más allá, nuevas galaxias divididas por una distancia de uno a cinco millones de años luz. Si se abarcan dis-

tancias más grandes aún, se descubren cúmulos de decenas o centenares de galaxias. Pero no descubrimos unidades estructurales más grandes. Por eso es admisible suponer que el Universo, al alcance de nuestro telescopio, es homogéneo. Pasando a escalas cada vez mayores, obtenemos, en última instancia, la misma densidad de la materia, sea cual fuere el punto desde el cual observemos el cielo astral. Para una esfera de radio de cerca de tres mil millones de años luz, en la cual se encuentran centenares de millones de galaxias, el promedio de la densidad asciende a 10^{-30} gramos en un centímetro cúbico. Podemos considerar la materia que se encuentra en estos límites como cierto sustrato cósmico homogéneo, pasando por alto las heterogeneidades locales, comprendidos los cúmulos de galaxias. Las distancias entre tales cúmulos son muy pequeñas en comparación con la esfera que engloba la parte del Universo que conocemos. Podemos suponer que el Universo es homogéneo también más allá de esta parte, en espacios que por ahora son inaccesibles para el telescopio.

Existe un "horizonte óptico". No podemos aún echar un vistazo más allá de sus límites, porque los objetos que se encuentran allí (si simplificamos un tanto el cuadro) se alejan de nosotros con la velocidad de la luz, se hace infinito el corrimiento rojo, debido a lo cual estos objetos son invisibles. Pero en distancias considerablemente menores, el postulado de la homogeneidad del Universo es una cuestión que puede ser confirmada por observaciones. El alcance del Universo explorado y cuya homogeneidad está confirmada por la observación, depende (dentro de los límites indicados) de la potencia de los telescopios, de su disposición fuera de la atmósfera terrestre y de la posibilidad de captar todas las gamas de ondas electromagnéticas y todos los tipos de radiaciones cósmicas. En otros términos, depende del curso de la nueva revolución astronómica. Mas de esta última, como veremos ahora, dependen también las respuestas a otras principales cuestiones cosmológicas.

Entre ellas figura también la cuestión de la finitud o infi-

nitud del Universo. Aquí tenemos que volver a las anteriores notas someras sobre la teoría general de la relatividad y desarrollarlas un tanto. Einstein consideraba la gravitación como cambio de conceptos geométricos, como paso de las propiedades euclidianas del espacio-tiempo a las no euclidianas, como encorvación del espacio-tiempo. Moviéndonos en el espacio, encontraremos campos gravitatorios locales de planetas, astros y galaxias, o sea, encorvamientos del espacio-tiempo que obligan a la línea universal del cuerpo a encorvarse igual que los terrones, altillos, colinas y montañas en la superficie bidimensional de la Tierra encorvan la trayectoria del cuerpo que se mueve por esta superficie. Pero en la Tierra, además de estos encorvamientos locales, existe la curvatura general del planeta. ¿No existirá en el Universo, además de los campos gravitatorios locales, una curvatura general análoga? Si el espacio-tiempo en conjunto poseyese tal curvatura, el movimiento de un cuerpo que salió al Cosmos del punto dado y en el momento dado habría terminado en el mismo punto y en el mismo momento, su línea universal se habría cerrado como se cierra el camino del que viaja alrededor del mundo sin cambiar de dirección.

Pero la línea cerrada en el espacio no contradice los axiomas de la física, mientras que la línea universal cerrada y la llegada de un viajero cósmico al mismo punto y en el mismo momento en que haya partido son físicamente imposibles. Por eso, Einstein supuso que el tiempo no está encorvado, y que la curvatura la posee únicamente el espacio. Un cuerpo que vuele libremente en el Universo, independientemente de los campos locales que cambian su dirección, va a parar en el mismo punto, después de circunscribir una línea cerrada, cuya longitud depende de la curvatura del espacio. Pero esto se producirá dentro de miles de millones de años, mientras que el retorno al mismo instante no puede producirse. Semejante estructura del mundo cuatridimensional –las dimensiones espaciales poseen curvatura, mientras que el tiempo no la posee– hace recordar un cilindro cuya superficie es recta en una dimensión (paralelamente al eje) y curva en otra, trans-

versal. Por eso, el Universo de Einstein se llama Universo cilíndrico.

Es un modelo cerrado de Universo. Tiene volumen finito, y la trayectoria de un cuerpo que se mueve libremente en él no puede ser infinita. Pero tal Universo finito no se parece al Universo finito de Aristóteles, pues no tiene límite que lo cierre. Tampoco se parece al modelo de una isla astral en el océano ilimitado del espacio vacío. En este caso, el océano, aunque no tenga costas, está limitado. Si pasamos del espacio tridimensional a la superficie bidimensional, encontraremos fácilmente una representación palmaria: la superficie de una esfera no tiene límites, pero es finita por su superficie y no se puede trazar en ella una línea geodésica infinitamente larga.

Semejante representación –que ya conocemos– sobre el espacio universal no es la única posible. Aquí, esta representación se asemeja a la superficie esférica, y la geometría del Universo es la geometría de Riemann: a través de un punto exterior a una recta no puede trazarse ninguna recta que no se cruce con la primera; la suma de los ángulos de un triángulo es superior a dos rectos, etc. Pero no está excluido que la geometría del Universo sea distinta. Se puede imaginar una superficie curva como la superficie de una silla de montar y persuadirse que en ella se hace realidad la geometría de Lobachevski: a través de un punto exterior a una recta pueden trazarse tantas rectas como se quiera que no se crucen; la suma de los ángulos de un triángulo es inferior a dos rectos; las líneas perpendiculares a la misma recta divergen. De ser el espacio universal análogo tridimensional de semejante superficie, no está cerrado. No lo está tampoco en el caso de que no exista la curvatura del espacio, de que su análogo bidimensional sea una superficie plana.

Si el Universo posee una u otra curvatura espacial, ésta puede ser constante o depender del tiempo. La segunda suposición, precisamente, constituía la base del modelo –propuesto en 1922 por Fridman y mencionado más de una vez por nosotros– del Universo en proceso de expansión. Sabemos ya que el corrimiento rojo de los espectros de astros lejanos,

descubierto posteriormente, confirmó el modelo de Fridman. Queda abierta la cuestión sobre el carácter de la expansión del Universo. Actualmente no podemos afirmar todavía si la expansión se opera como proceso irreversible o si el Universo está pulsando, y alguna vez la expansión se sustituirá por la contracción. La solución de este problema depende de los datos sobre la densidad media de la sustancia en el Universo y, en general, de los resultados de las observaciones astronómicas y astrofísicas. Se puede suponer que este problema se resolverá de modo inequívoco en el tiempo que queda hasta el fin de nuestro siglo, o sea, hasta el año 2000.

Se puede esperar que la nueva revolución astronómica conteste en este período a otra cuestión cosmológica y cosmogónica cardinal. Se trata del estado del Universo en el momento del comienzo de su expansión.

Si se parte de las representaciones actuales sobre la velocidad de la expansión, resulta que hace 7-14 mil millones de años el Universo era un cuerpo superdenso. ¿Cuál era su temperatura? En 1946, Gamow propuso el modelo de *Universo caliente*, que es una suposición sobre una temperatura inicial muy alta. Cuando la expansión del Universo la hizo llegar a una densidad media igual a la del núcleo, la temperatura era igual, aproximadamente, a 10^{13} grados, mientras que antes, siendo mayor la densidad, fue aún más alta.

Los datos necesarios para resolver de uno u otro modo el problema del estado inicial del Universo están vinculados estrechamente con observaciones astrofísicas e incluso con trabajos que surten efecto práctico. En 1965, al estudiar el laboratorio de Bell los radiorruidos, se descubrió la radiación térmica que llega a la Tierra desde todos los lados con la misma intensidad. Del carácter de esta radiación "relicta" se dedujo la existencia de una temperatura determinada en el espacio intergaláctica y se enlazó su magnitud con la temperatura inicial del Universo, como la valora el modelo "caliente". Numerosos trabajos que ligan este modelo a los datos astrofísicos, operan con las transmutaciones de las partículas elementales (por ejemplo, con las desmaterializaciones de

las partículas pesadas y la conservación de neutrinos y algunas otras partículas).

Con la teoría de las partículas elementales está vinculado de modo igualmente directo el problema de la simetría del Universo. En la teoría de las partículas elementales se estudian la *materia* (electrones, protones, neutrones, etc.) y la *antimateria* (positrones, antiprotones, antineutrones, etc.). ¿Es simétrico el Universo en el sentido de que la materia y la antimateria estén representadas en él en proporciones cuantitativamente iguales? Existen teorías que deducen de las hipótesis novísimas sobre las partículas elementales la asimetría del Universo: falta de núcleos macroscópicos de antimateria. Los cuerpos celestes y las galaxias, componentes del Universo, son materia. Hay unas teorías distintas que suponen la existencia de antiastros y antigalaxias enteras. Estas teorías comprenden las concepciones cosmogónicas, o sea, admiten cierto *ambiplasma* inicial (de la palabra griega "ambios": ambos), que consistía de la materia y la antimateria. En una fase de la evolución del Universo, en los potentes campos gravitacionales y magnéticos heterogéneos, la materia y la antimateria se dividieron sin que se produjeran choques entre las partículas y las antipartículas. La evolución subsiguiente incluye los procesos de desmaterialización a los cuales apelan, en particular, al explicar la potente radiación de los quasares.

La cosmología contemporánea se distingue por su carácter integral. Los problemas –que acabamos de mencionar– de la homogeneidad, la infinitud, la expansión, el estado inicial y la simetría del Universo sólo pueden ser resueltos en el marco de un cuadro único. Por ejemplo, la hipótesis sobre la división del ambiplasma sin que chocasen entre sí las partículas debe coordinarse de alguna manera con el hecho de que de la teoría de la expansión del Universo se desprende su gran densidad inicial en el estado primario. Muchos nexos semejantes existentes, en su conjunto, excluyen la posibilidad de resolver por separado los problemas astrofísicos fundamentales. Estos problemas no pueden resolverse tampoco

separadamente de la creación de una teoría más general de las partículas elementales.

En astrofísica moderna, la exigencia einsteiniana de la "perfección interna" es inusitadamente imperiosa.

Semejante exigencia no puede ser satisfecha en el marco del ideal *clásico* de la explicación científica. Este ideal consiste en presentar a uno u otro esquema de los cuerpos discretos en interacción como eslabón último del análisis. El ideal nuevo, no clásico, de la explicación científica excluye los eslabones últimos del análisis, siendo próximo a la representación espinosiana no lineal de la naturaleza, que interacciona consigo misma. Este ideal introduce en la ciencia la idea de la interacción de los campos y el sistema autoconcordado de las partículas, cuya existencia, y no sólo la conducta, es resultado de la interacción. El nuevo ideal de la explicación científica consiste en incluir en el análisis del ser del Universo la existencia de especies determinadas de partículas elementales y la existencia del Cosmos, cuyas estructura y evolución dependen de las transmutaciones de las partículas y, a su vez, determinan el curso de estas transmutaciones.

El cambio del ideal de la explicación científica ha sido siempre un punto de viraje del desarrollo de la civilización. ¿Qué puede ofrecer a la civilización un ideal nuevo, no clásico, de la ciencia?

LA CIVILIZACIÓN POSTATÓMICA

En este capítulo quisiéramos valernos de una posibilidad muy pequeña, pero esencial para hacer el pronóstico del año 2000, para definir los contornos de la civilización postatómica. Bruno Pontecorvo, en el artículo arriba mencionado sobre la física de las partículas elementales, dice que la cuestión de su efecto práctico "*casi* carece de su razón de ser". Vamos a aprovechar precisamente ese "casi".

Previamente, hacemos una observación sobre la sucesión

de las etapas de la civilización en dependencia de los descubrimientos y generalizaciones fundamentales en física. Estas etapas no están separadas por límites del tipo de los cataclismos de Cuvier, que barren los rasgos principales de cada etapa anterior con el fin de despejar el campo para la etapa posterior. La sucesión de las etapas hace recordar más bien la sucesión de las escenas en una pieza de teatro, separadas por la acotación: "los mismos y fulano de tal". En el siglo XXI, las aplicaciones de las físicas clásica y atómica, lejos de reducirse al mínimo, no se reducirán en general. Puede suponerse que a ellas se extenderá el efecto dinámico (crecimiento de la aceleración) de la física de las partículas elementales.

Por lo demás, así fue también anteriormente. La aplicación universal de la electrodinámica clásica y de la teoría electrónica clásica (electrificación de la producción) aceleró y diversificó no sólo la utilización de la termodinámica clásica, sino también de la mecánica clásica. La energética atómica condujo al aceleramiento de la electrificación. El empleo de la física de las partículas elementales producirá un "efecto de resonancia" en las físicas clásica y atómica.

Pero se desplazará el centro de resonancia. En el siglo atómico, este centro es la energética. Precisamente, la incorporación de los recursos de energía concentrados en extremo y prácticamente inagotables al balance energético. La coronación de esta tendencia, la situación en que la ampliación de los recursos energéticos utilizables dejará de ser un problema científico-ténico candente, puede considerarse como el fin del siglo atómico. La realización de los procesos termonucleares controlables determinará principalmente si esto se produce a principios o a mediados del siglo XXI.

Después de eso, el principal problema tecnocientífico y el centro del "efecto de resonancia" consistirán en concentrar la energía máxima en campos tiempo-espaciales menores posibles. En principio, las nuevas posibilidades de tal concentración pueden vincularse con el proceso de aniquilación de la materia y antimateria. Estos procesos, tan exóticos actualmente, serán, quizás, el eslabón tecnocientífico de partida

del siglo postatómico, lo mismo que los procesos de desintegración de los núcleos de uranio, tan exóticos a finales de los años treinta, fueron el eslabón de partida del siglo atómico.

Los procesos ultrarrelativistas de la transmutación de las partículas pueden liberar, en caso de desmaterialización, toda la energía en reposo, que corresponde a toda la masa en reposo de la materia. Según la fórmula $E=mc^2$, esta energía constituirá $c^2=9\cdot10^{20}$ ergios en un gramo, o sea, 10.000 veces más energía que la que se desprende al desintegrarse un gramo de uranio. Para obtener un gramo de antimateria capaz de desmaterializar hay que gastar más energía que la que se desprende durante la desmaterialización. Pero, si se hubiera logrado aislar las antipartículas, separándolas de las partículas, e impedir por cierto tiempo su aniquilación, habríamos obtenido un acumulador que pudiese concentrar en un gramo de sustancia $9\cdot10^{20}$ ergios de energía (por supuesto, esto no es una característica técnica, sino el ciclo óptimo, ciclo ideal, que constituye el canon objetivo a que tiende la técnica de acumulación). Se puede imaginar la antimateria aislada, confinada en una trampa neumática, antimateria compuesta de "antiátomos": antiprotones y antineutrones rodeados por positrones. Se puede tomar el ejemplo más hipotético aún de un acumulador supercapaz. Recordemos las partículas de gran masa, que se unen, al liberarse una colosal energía de enlace, es decir, al crearse un colosal defecto de masa, para formar las partículas que ya conocemos o las que conoceremos en el futuro. Tales son los *quarks* de Gell-Mann y Zweig, así como los *maximones* de Márkov. De haber existido tales partículas, se podría utilizarlas como acumulador de energía gastada para obtener las partículas mencionadas en estado libre. Entrando en interacciones muy intensivas y convirtiéndose en partículas de masa menor, ellas liberarían parte de esta energía. Pero este ejemplo no ilustra más que la diversidad de las vías probables o, en todo caso, eventuales de almacenamiento y liberación subsiguiente de energía, que en principio es capaz de aproximarse a $9\cdot10^{20}$ ergios en un gramo de sustancia. Independientemente de la

indeterminación de las vías concretas, la perspectiva misma de semejante acumulación parece probable.

En el carácter de la civilización pueden influir radicalmente dos formas de empleo de los acumuladores supercapaces. Una de ellas es el empleo de aparatos macroscópicos que utilicen toneladas y, quizás, miles de toneladas de antimateria. Pueden utilizarse para las naves cósmicas. Esto permitirá convertir algunas naves en observatorios muy grandes que, siendo embalados a gran velocidad por cohetes de aniquilación y poseyendo una reserva de antimateria, podrán penetrar en la periferia del Sistema Solar y, en cierto grado, más allá de sus límites. No se trata de cosmonautas que viajen a las estrellas ni, inclusive, de naves automáticas que se aproximen a los astros y sus planetas. Tales viajes son poco probables por lo menos a comienzos del siglo XXI y, quizás, a sus mediados. A fines de nuestro siglo, en el Sistema Solar se potenciará, por lo visto, parte de la superficie (y, quizá, también del subsuelo) de la Luna y los planetas del grupo terrestre: Mercurio, Venus y Marte. La antimateria, como acumulador de energía utilizable en cohetes cósmicos permitirá (paralelamente y después de los cohetes uranios y, quizá, termonucleares) que el transporte interplanetario se haga más potente y que se acelere la potenciación de los recursos de los planetas del Sistema Solar.

El paso del Sistema Solar al mundo astral no será continuación de *este* proceso. El estudio de las estrellas de la Galaxia y de los objetos extragalácticos se operará en nuevas condiciones porque los cohetes nucleares y, más tarde, termonucleares y de aniquilación permitirán transportar observatorios astronómicos y astrofísicos no sólo a la Luna, Mercurio, Venus y Marte, sino también lanzarlos hacia la periferia del sistema Solar: hacia Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Estos observatorios transmitirán información sobre fenómenos que actualmente no pueden ni imaginarse. Será la tercera revolución astronómica, si, como hemos hecho ya, se considera que el comienzo de la primera fue el *Sidereus Nuntius* de Galileo, y el de la segunda, la observación desde la

Tierra y sus satélites artificiales no sólo de la radiación óptica, sino también de la radial, de rayos X, de neutrinos, etc.

Por lo visto, el empleo de acumuladores superpotentes no será suficiente para organizar vuelos interestelares. Estos últimos se realizarán basándose en principios energéticos que aún no están claros. No obstante, los vuelos hacia la periferia del Sistema Solar (y, quizá, más allá de sus límites, pero no a distancias interestelares) permitirán realizar observaciones astronómicas en unas condiciones nuevas en comparación con el grupo terrestre de planetas.

A lo que podríamos llamar observaciones astronómicas pasivas se agregarán nuevas formas, inalcanzables en el siglo XX, de búsqueda activa de civilizaciones extraterrestres. En las naves cósmicas del siglo XXI, capaces de llegar a la periferia del Sistema Solar, se instalarán no sólo medios de observación, sino también aparatos que puedan transmitir al Cosmos información sobre nuestro planeta y sus habitantes. Si en el Universo hay quienes nos buscan, la contrabúsqueda intensa por la capacidad y el alcance de la información aumentará muchas veces la "sección eficaz" de las civilizaciones que se buscan.

Aumentará muchas veces, quedándose, no obstante, muy pequeña, pues no se trata de la escala cósmica, sino de la escala del tiempo histórica, humana. Pero en la esperanza del encuentro no hay ni pizca de mesianismo. Es una de las direcciones de las búsquedas científicas que en principio no se diferencia, digamos, de las búsquedas de los *quarks*. Se trata de una probabilidad muy pequeña, pero no igual a cero, de obtener cierta información sumamente concentrada. No se puede prever el volumen y el valor de esta información. Para invertir medios en las búsquedas de tal información baste saber que todas estas probabilidades que se multiplican una por otra (llegada de señales a los mundos habitables, obtención de señales de éstos, desciframiento racional, valor de la información obtenida, etc.) no son iguales a cero. De la misma manera procedemos también al buscar las partículas hipotéticas cuya existencia no está excluida por prohibicio-

nes de ningún género y se encuadra en una concepción no contradictoria. Pero esto es poco. Las búsquedas de civilizaciones extraterrestres tienen sentido inclusive si en el marco de la escala del tiempo humana, y no cósmica, la probabilidad de obtener respuesta es igual a cero. Pues la imagen tradicional del viejo que planta nuevos árboles ("que darán sus frutos a otros...") caracteriza la particularidad sustancial de la civilización y el progreso: la proyección en el espacio y el tiempo del sujeto para cuyos intereses trabajan los hombres. Esta proyección se extiende a generaciones venideras cada vez más lejanas y, al mismo tiempo, a contingentes cada vez más grandes de seres pensantes. No hay motivo para circunscribir estos procesos a las escalas de la Tierra, el Sistema Solar e incluso la Galaxia y a las escalas temporales de la existencia de la civilización terrestre.

No quisiéramos detenernos con detalle en el problema de las civilizaciones extraterrestres. El énfasis principal de los pronósticos para el año 2000 consiste en el nexo entre las perspectivas tecnocientíficas y la elección de planes económicos óptimos, la estructura óptima de las inversiones en la economía, la cultura y la ciencia, así como en una cierta autenticidad de estos pronósticos. El siglo atómico son decenios en los cuales es admisible no sólo hablar de los cambios *posibles* en la técnica y la economía, sino también confrontar las probabilidades de unos u otros cambios y encontrar los cambios más probables y las estructuras económicas óptimas para ellos. En este marco, el pronóstico de la civilización postatómica persigue un solo fin: mostrar que en los límites del siglo atómico se prepara una nueva etapa del progreso tecnocientífico, que por ahora no puede estudiarse desde el punto de vista de elegir la realización óptima en el sentido económico.

Por eso, el concepto de civilización postatómica comprende cambios no determinados ni por su carácter y dirección ni en el orden cronológico. Incluso el comienzo de la civilización postatómica no puede ser remitido a los primeros decenios o a los mediados del siglo XXI. Sólo podemos suponer (ope-

rando no ya con decenios sino con cincuentenios) que después de que las reacciones termonucleares controlables proporcionen a la humanidad recursos energéticos prácticamente inagotables, la tarea principal será la miniaturización de las fuentes de la energía usable; y es aquí cuando los acumuladores supercapaces desempeñarán para la física de las partículas el papel de eslabón de aplicación práctica, análogo al papel de la desintegración del uranio para la física nuclear o al de la inducción electromagnética para la electrodinámica clásica.

Esta vía de utilización de la física de las partículas elementales para acumular energía consiste en crear aparatos muy pequeños por sus dimensiones, en los cuales la energía de aniquilación se convierta en energías eléctrica, térmica, mecánica o química y forme, a niveles milimétricos y, más tarde, inferiores, potentes campos electromagnéticos y altas tensiones, temperaturas, presiones y velocidades de las reacciones químicas endotérmicas. Esta miniaturización sumamente energética puede proseguir hasta llegar a escalas micrónicas e incluso submicrónicas. Ella cambiará radicalmente la tecnología. En su tiempo, la electrificación permitió acoplar el árbol del motor eléctrico con el del instrumento de trabajo (taladro, cuchilla, etc.). Esto hizo innecesarias complicadas transmisiones mecánicas. En nuestros tiempos (en gran escala, en el período que pronosticamos y que abarca los fines del siglo), la electrónica cuántica permite transportar la energía del campo electromagnético alterno directamento al objeto de tratamiento tecnológico. En un número cada vez mayor de operaciones, esto hace innecesaria la transformación de la energía eléctrica en energía mecánica con ayuda del motor eléctrico o en energía térmica con ayuda del horno eléctrico. La acción directa de los fotones puede operarse incluso a nivel molecular.

Mas por ahora, la generación de energía no se miniaturiza. La energía se concentra en lasers, necesitando de transmisiones eléctricas que alimenten las fuentes primarias de radiación que concentra el laser. Al utilizarse la energía de

aniquilación se miniaturiza la fuente misma de alimentación. Podemos concentrar en un aparato de dimensiones de unos cuantos milímetros cúbicos una energía del orden de decenas de miles de kilovatios-hora sin necesidad de suministrarla por cables o transmisores ópticos de energía.

En la naturaleza encontramos dos géneros de procesos, de los cuales se trató ya en el capítulo sobre la información. Los procesos del primer género son altamente energéticos. Se caracterizan por la absorbción y la liberación de grandes cantidades de energía, siendo relativamente pequeños los incrementos de la entropía y la entropía negativa. Tales son la elevación y la caída de agua durante su circulación, la acumulación de energía en la clorofila y su liberación al quemarse el combustible, así como los demás procesos que emplean la energía del Sol en proporciones macroscópicas. La energética clásica es la utilización de estos procesos. Con algunas reservas, también se puede sumar a ellos la liberación de energía nuclear, aunque este proceso va acompañado de una variación mucho mayor de entropía y, además, no está ligado con el Sol.

Los procesos del segundo género pueden calificarse de altamente entrópicos y consisten en cambios considerables de la entropía y, respectivamente, de la entropía negativa, siendo muy pequeñas las transformaciones y transmisiones de energía. En el capítulo sobre la información se mencionó ya el ejemplo, traído por G. Thomson, de tales procesos: la distribución en cierto orden de una baraja de cartas exige menos energía que la que se libera al quemarse una molécula de parafina.

En la naturaleza, los procesos altamente entrópicos están concentrados en las moléculas de ADN y ARN del cerebro de los animales superiores (la mayor concentración de entropía negativa existe en el cerebro del hombre). En la técnica, estos procesos se observan en los dispositivos cibernéticos y en los distintos tipos de comunicaciones. Los procesos altamente entrópicos son procesos de transformación y transmisión de información. En la producción en conjunto, los

procesos altamente entrópicos, que se operan en el cerebro del hombre o en los dispositivos cibernéticos, que son su imitación, dirigen los procesos altamente energéticos, desempeñando el papel del despachador de cargas que escribe señas, digamos, en los vagones de hulla que se transportan a determinadas estaciones. La escritura de estas señas requiere una pequeña cantidad de energía, contiene gran información y permite crear una gran entropía negativa. Pero la creación de esta última sólo se inicia al escribir las señas. La entropía negativa se realiza si según estas señas se realizan en efecto las transportaciones.

Imaginémonos ahora que el combustible no es hulla, sino una sustancia que contiene en un centímetro cúbico la misma cantidad de calorías que las existentes en todo un tren de hulla. El gasto de energía para transportar estos cubitos no supera mucho el gasto de energía para escribir la señas y despachar las facturas. Comenzamos a comprender que la miniaturización de las transformaciones y transmisiones de energía con ayuda de acumuladores supercapaces cambia la correlación entre la información y la energética, entre los procesos altamente entrópicos y los altamente energéticos.

Esto no quiere decir que la energética miniaturizada pueda ser automática sin que la dirijan procesos altamente entrópicos. Probablemente no se necesitará despachar facturas y pegar señas en las cargas energéticas, pues se podrá transportarlas en vez de facturas. La realización de la información entrópico-negativa se hace tan fácil como su obtención. Pero en el plano general, la constitución de largas y complejas cadenas informativas altamente entrópicas debe estar separada de los procesos altamente energéticos. Estas cadenas permiten hacer multitud de cálculos y elegir el esquema óptimo de los procesos altamente energéticos antes de su comienzo. Pero, al emplearse los acumuladores supercapaces, la elección del esquema óptimo puede incluir los procesos altamente energéticos. Si la modelación altamente entrópica (de pequeñas energías) es demasiado complicada, el disposi-

tivo cibernético es capaz de originar el proceso altamente energético, valorar su resultado y, partiendo de este último, tomar determinada decisión óptima. Así pues, el dispositivo cibernético comprenderá *unidades de experimentación*. En general, el mecanismo cibernético, siendo puramente de alta entropía y conectando y desconectando unas u otras instalaciones altamente energéticas, se completará con un mecanismo cibernético que tenga montados acumuladores supercapaces altamente energéticos.

Estos últimos se montarán, por lo visto, en los esquemas que imitan los músculos. En el capítulo sobre la biología molecular se habló de las instalaciones de fuerza compuestas de polímeros artificiales que poseen reacciones motrices. La existencia en el músculo artificial de un acumulador, que prácticamente no requiere recargas durante decenios y hasta centenios, independizará estos mecanismos de la alimentación energética desde fuera. El hecho de que las dimensiones de estos acumuladores sean de unos milímetros cúbicos e incluso más pequeñas, permitirá tener en el mecanismo un complicado sistema de músculos independientes uno de otro y vinculados cada uno con el sistema de receptores artificiales. En un "organismo" polímero-acumulador puede haber centenares o millares de tales receptores. La complejidad de las funciones de este "organismo" será prácticamente ilimitada.

Para la medicina y las investigaciones filosóficas será muy eficiente la inclusión de acumuladores en los organismos vivos, que funcionen durante decenios y creen en el organismo un gran sistema coordinado de efectos eléctricos, térmicos y mecánicos (corazón artificial, pulmones artificiales).

Se podría ampliar cuanto se quiera la relación de las posibles aplicaciones de los acumuladores supercapaces. Es una función de la imaginación. Mas el presente libro concede a ésta un papel modesto, que se limita a presentar ilustraciones convencionales de los pronósticos que se deducen lógicamente de las tendencias actuales de la ciencia, permitiendo

determinar el efecto eventual de las mismas. Lo que queda dicho sobre los acumuladores supercapaces no es más que una ilustración de la tendencia real de la física moderna de las partículas elementales. Esta física permite aumentar la entropía negativa en la naturaleza al nivel de las células tiempo-espaciales del orden de 10^{-13} cm y 10^{-24} seg. En estas células (quizá menores en varios órdenes) no se operan, probablemente, movimientos ininterrumpidos, supeditados a la causalidad relativista, sino transmutaciones, o sea, modificaciones no de la conducta, sino de la existencia de partículas de diversas especies. En este nivel, la entropía negativa puede aumentar en la forma más cómoda para la utilización práctica, al formarse la antimateria.

Pero no es evidente en absoluto que en niveles inferiores de los campos tiempo-espaciales la entropía negativa signifique el paso de la civilización a un nivel más alto. Los términos "civilización relativista" o "civilización atómica", lo mismo que los términos civilización "ultrarrelativista" o "postatómica", corresponden a tal representación sobre la entropía negativa y la civilización. ¿En qué grado es legítima esta representación?

El concepto de civilización es inseparable del de su crecimiento, del concepto de progreso, de la representación sobre cierta particularidad típica del hombre, que apareció junto con él y que crece a medida que la humanidad se aleja del momento de su aparición en la Tierra. La definición de la civilización depende de la definición del hombre en su diferencia de la naturaleza.

La diferencia entre el hombre y la naturaleza no quiere decir que aquél se encuentre al margen de ésta; significa que la existencia del hombre no sólo se subordina a las leyes generales de la naturaleza (leyes mecánicas, físicas, químicas y biológicas), sino que a la vez subordina los procesos mecánicos, físicos, químicos y biológicos de la naturaleza a los fines del hombre. La liberación del hombre de la adaptación netamente biológica al medio ambiente y el paso a la adaptación específicamente humana, a la supeditación racio-

nal de las fuerzas circundantes de la naturaleza constituye precisamente la civilización, que aparece con el hombre, que, con su crecimiento, marca el alejamiento del hombre del momento de su aparición en la Tierra y que, con su estado en cada época, mide el intervalo entre ésta y la génesis del hombre y la civilización. El crecimiento de lo específicamente humano, impropio de la naturaleza opuesta al hombre, la "humanización" de éste, su liberación de la supeditación a la naturaleza, su "desbestialización" y el aumento de *lo humano* en el hombre es la definición integral de la civilización.

De ahí se desprendre que la definición de partida de la civilización debe indicar una magnitud cuyo crecimiento marque el progreso de la civilización y cuyo valor no igual a cero testimonie la aparición del género humano. Es la suma de las fuerzas de la naturaleza dirigidas por la actividad racional del hombre, supeditadas a los fines de éste y compuestas de modo que se realice cierta representación, cierta imagen existente de antemano en la conciencia del hombre. Por eso, la civilización es coetánea del trabajo como actividad racional, coetánea del uso de instrumentos. El hombre que se ha arrancado de la naturaleza y que supedita las fuerzas de ésta para alcanzar la finalidad existente de antemano en la conciencia es el *toolmaking animal*[30].

Los instrumentos de trabajo son medios mecánicos que supeditan a los fines del hombre fuerzas superiores, por su potencia, a las posibilidades fisiológicas del organismo humano (la palanca) o actúan a una distancia inaccesible para la mano (el palo y la piedra) o crean una presión imposible para la mano sobre una superficie (la estaca y el cuchillo). Luego sigue el empleo de las fuerzas de la naturaleza para obtener temperaturas imposibles para el organismo (el fuego). Más tarde, la intervención en los procesos de expansión de plantas útiles (las siembras) y en las condiciones de vegetación (el riego); la inclusión de la energía potencial y

[30] Véase C. Marx. *El Capital*, ed. en ruso, t. I, Moscú, 1968, pág. 121.

cinética del agua en el balance de energías racionalmente aprovechables (las ruedas hidráulicas), etc.

Es evidente que el índice integral de la civilización será la suma de las fuerzas de la naturaleza compuestas racionalmente por el hombre, más exactamente, la relación de la suma mencionada con las fuerzas del hombre mismo, que componen a las de la naturaleza. Este índice es proporcional a la productividad del trabajo, o sea, al principal exponente económico de la civilización. El índice del progreso es la velocidad del paso a una composición racional más profunda de las fuerzas de la naturaleza, la liberación sucesiva del hombre del poder de las fuerzas ciegas de la naturaleza, del poder de la selección biológica, la humanización ulterior del hombre y su desbestialización sucesiva. El comienzo de este proceso es el trabajo, que sustituye la adaptación biológica al medio por la adaptación humana de la naturaleza a los fines planteados de antemano. Más tarde, el hombre comienza a modificar el carácter de las operaciones tecnológicas o, en otros términos, altera la tecnología formada de modo espontáneo, transformándola conscientemente (persiguiendo un resultado previsible de antemano). El objeto de la intervención racional propia del hombre es ya no sólo el resultado del acto tecnológico, sino también sus parámetros, no sólo "¿qué?", sino también "¿cómo?" El hombre piensa en distintas variantes de los procesos tecnológicos, las confronta y formula ciertas nociones generales.

Son nociones de las ciencias naturales. La *observancia* de los parámetros tecnológicos puede basarse en la tradición, y las búsquedas de *nuevos* parámetros, en el conocimiento del mecanismo causal interno de los fenómenos. La producción que asegura el progreso ininterrumpido es resultado de las ciencias naturales aplicadas. El progreso de la técnica se garantiza con la aplicación de los conocimientos en el campo de las ciencias naturales y con las búsquedas de diseños y procesos que se aproximen en el mayor grado ya no a las normas técnicas, sino a los esquemas físicos (por ejemplo, las búsquedas del rendimiento máximo).

Con el correr del tiempo, semejantes búsquedas conducen a búsquedas sistemáticas e incesantes de verdades científicas que no tienen inmediato efecto aplicado. Es una etapa muy importante de la humanización: el hombre se libera en su actividad del poder de las demandas *inmediatas* de la producción. Aquí resulta decisivo el carácter sistemático del trabajo científico "desinteresado". Este carácter significa que la sucesión de la investigación científica se supedita a la lógica interna de la ciencia misma y, en el caso ideal, no depende de los impulsos casuales o exteriores.

La penetración en campos de la ciencia cada vez más "desinteresados" (es decir, no ligados a la influencia inmediata en el *nivel* de la producción y el consumo, pero ligados a su dinámica, a su progreso) está vinculada con la ampliación de la jerarquía de los sistemas ordenados conocida por los hombres, con el estudio de la estructura y los estados de los cuerpos macroscópicos, luego, de las moléculas y, posteriormente, de los átomos, núcleos y partículas subnucleares.

Aquí conviene recordar lo dicho en la primera parte del presente libro sobre la entropía negativa y las noozonas: zonas del ordenamiento racional del ser. La ciencia capta el ordenamiento, el carácter lógico del ser, y descubre su armonía, la entropía negativa, que permite utilizar racionalmente los procesos entrópicos en la naturaleza. En el movimiento desordenado de las moléculas encuentra (¡y crea!) diferencias térmicas que permiten convertirlo en movimientos ordenados y uniformes de grandes conjuntos de moléculas, en movimiento de los cuerpos macroscópicos. En ello consiste la transformación del calor en trabajo mecánico. La creación de las diferencias térmicas, es decir, el crecimiento de la entropía negativa, requiere el aumento de la entropía, requiere el gasto de energía en su forma aprovechable. Por ejemplo, el crecimiento de la entropía negativa al aumentar la temperatura del vapor o del gas en un motor térmico (crecimiento de la diferencia térmica entre la caldera o cilindro y el condensador) elimina la diferencia entre la energía concentrada en el combustible y la energía del movimiento térmico en el

medio ambiente. La técnica emplea la *entropía negativa existente ya en la naturaleza* y aumenta la *entropía negativa en los sistemas artificiales racionalmente construidos*. En tales sistemas, la entropía negativa significa precisamente la composición racional de las fuerzas de la naturaleza. Las transiciones a estructuras cada vez menores, en las cuales se crea una entropía negativa cada vez mayor, son importantísimas etapas del progreso tecnocientífico. Las civilizaciones existentes en el pasado, lo mismo que la civilización contemporánea, han dispuesto, en calidad de base tecnocientífica suya, de energía aprovechable, acumulada en gran escala, de entropía negativa en gran escala. Cualesquiera que fuesen las fuentes naturales de energía –desniveles de agua (hidroenergética), concentración de energía en combustible (termotécnica) o existencia de núcleos de elementos con una energía específica de enlace menor que en otros (energética atómica), su utilización consistía en crear las diferencias térmicas, el potencial gravitacional o las diferencias de los potenciales eléctricos en campos espaciales relativamente grandes. En comparación con la civilización postatómica, tanto las épocas anteriores como la contemporánea, son épocas de una pequeña concentración espacial de energía acumulada.

Su concentración, precisamente, constituye el eje físico-técnico del progreso de la civilización y de la creciente composición racional de las fuerzas de la naturaleza. El trabajo es la base de la civilización, y el crecimiento de su productividad es la base del progreso de la misma. A la vez, el trabajo es, ante todo, la actividad racional, el ordenamiento racional de la naturaleza. Este ordenamiento se expresa en el empleo de la entropía negativa espontánea para acrecentar conscientemente, con arreglo a un plan (con esto recordamos lo que diferencia al peor arquitecto de la mejor abeja), la entropía negativa, para concentrar la energía acumulada en forma aprovechable.

El acrecentamiento natural de la entropía negativa, no importa si tuvo lugar en los bosques del período carbonífero o miles de milenios antes, al formarse elementos con distinta

energía específica de unión de nucleones, es precisamente la fuente de las fuerzas espontáneas de la naturaleza, que en medida cada vez mayor (o sea, con la penetración en campos espaciales cada vez menores) se transforman en energía aprovechable de los sistemas racionales, artificialmente ordenados. La electrónica cuántica introduce ya los sistemas microscópicamente ordenados, en los cuales los electrones pasan coordinadamente, en el átomo, a las órbitas inferiores. Pero aquí las energías aún no son grandes. En este sentido, los sistemas de antinucleones y positrones u otros sistemas de antimateria representan una etapa nueva por principio de concentración de la energía aprovechable, una etapa nueva de la entropía negativa artificial en el micromundo. Esta vez, la composición racional de las fuerzas de la naturaleza engloba las interacciones responsables de la transmutación de las partículas.

La naturaleza de estas interacciones forma parte de los problemas de la ciencia que actualmente son los más fundamentales. El planteamiento mismo de estos problemas aumenta ya el potencial intelectual de la ciencia y modifica el estilo del pensamiento físico.

El concepto de estilo del pensamiento físico fue propuesto a comienzos de la década del cincuenta por Pauli y Born, que llamaron así las particularidades estables de las teorías físicas, que determinan o, por lo menos, delimitan los posibles pronósticos del desarrollo ulterior de la física[31]. Las modificaciones más radicales del estilo del pensamiento físico coincidirán, por lo visto, con el cambio del pensamiento científico en conjunto y, más aún, con algunos cambios sustanciales de la civilización.

¿Cuáles son los rasgos que definen el estilo actual del pensamiento físico?

En primer lugar, el enfoque integral de las soluciones particulares, la revisión de las bases del cuadro del mundo

---

[31] Véase M. Born. *Proc. Phys. Soc.*, 1953, 66, 400 A, 501.

para resolver los problemas concretos más actuales. Se ha dicho ya que la física tiene planteado ahora el problema absolutamente concreto de eliminar los interminables valores físicamente absurdos de la masa y la carga, que se obtienen al tomar en consideración la interacción de la partícula con el vacío. Pero la eliminación de los valores interminables, y, además, una eliminación físicamente sensata, y no un simple procedimiento matemático de receta, requiere resolver problemas tan cardinales como son la unificación de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica en una teoría unitaria de las partículas elementales.

El carácter integral del estilo contemporáneo del pensamiento científico se combina con el afán de obtener resultados concretos. Eran propias de la Antigüedad una amplia representación integral del mundo y suposiciones filosófico-naturales que abarcaban todo el Universo. Mas eran precisamente suposiciones, no concretas, y, quizás, no aspiraban a serlo.

A partir de la segunda mitad del siglo XVII, las conclusiones de la ciencia adquieren un carácter riguroso y comprobable por la vía experimental, en todo caso, la ciencia aspira a ello.

El estilo actual de la ciencia es una síntesis muy peculiar de la amplitud antigua, por una parte, y la concretación clásica y la certidumbre comprobada experimentalmente, por la otra: la ciencia busca la armonía universal del ser, pero la busca con ayuda del experimento y plasma los resultados de las búsquedas en rigurosas correlaciones cuantitativas que en una serie de casos son inseparables de las comprobaciones de la indeterminación, de la atribución de los valores exactos y fidedignos no a los acontecimientos mismos, sino a sus probabilidades. El científico contemporáneo, lo mismo que el científico de fines del presente siglo, quizás, no ha aventajado ni aventajará a Aristóteles ni por la sutileza del pensamiento ni por la capacidad de abarcar con él a todo el Universo. En este sentido, el pensamiento antiguo será siempre el ideal de la ciencia. Pero el científico contemporáneo resuelve los problemas más cardinales del Cosmos y el micro-

cosmos con ayuda de la observación y el experimento, o sea, en principio, de modo concreto.

Hacemos constar estos rasgos del pensamiento físico actual, sabemos de modo relativamente fidedigno cuál será la base experimental que permitirá realizarlos; pero podemos decir muy poco de las formas en que se realizarán y de los resultados prácticos que aportará esta realización. El pronóstico sobre los acumuladores supercapaces ilustra las tendencias reales; pero no se puede afirmar que la primera mitad del siglo XXI ha de llamarse siglo subnuclear o siglo de los acumuladores subnucleares por la misma razón que la segunda mitad del siglo XX fue denominada siglo atómico. Sabemos que con esta última denominación compiten otras: "siglo de la cibernética", "siglo de los polímeros", etc. Probablemente, con la denominación tipo de "siglo subnuclear", si incluso tiene fundamento, competirán otras denominaciones. Y, quizá, competirán con éxito. La potenciación de planetas a los primeros datos positivos sobre civilizaciones extraterrestres podrían dejar su más evidente impronta en la civilización del siglo XXI.

Volvamos al problema de las implicaciones que tiene la ciencia fundamental en el carácter de la civilazación. La humanización de la vida del hombre –principal exponente del progreso de la civilización del que acabamos de hablar– no se limita a liberarlo del poder de las regularidades biológicas prehumanas y extrahumanas. Comprende la liberación del hombre del poder de las fuerzas sociales espontáneas, "un salto del reino de la necesidad al reino de la libertad". Esta libertad quiere decir, en particular, la posibilidad de *transformar* la naturaleza, la tecnología, la ciencia y la economía, supone la transformación del mundo y tiene un sentido *dinámico*. El hombre se hace cada vez más libre no sólo por excluir o contrarrestar fuerzas exteriores que amenazan su existencia *estacionaria*. Se hace cada vez más libre en un sentido positivo y activo; subordina a sus fines las fuerzas de la naturaleza, las compone para alcanzar un ideal formulado de antemano, con la particularidad de que este ideal se

constituye cada vez más no sólo del *nivel* determinado de lo que el hombre recibe de la naturaleza, sino también de uno u otro ritmo del incremento de este nivel, y de una u otra aceleración del ritmo. La libertad del hombre de la cual habló Espinosa y se trató en la primera parte del presente libro, en el capítulo *Trabajo y libertad,* se concreta ahora en la posibilidad del crecimiento *acelerado* de las noozonas: esferas de los procesos racionalmente ordenados de la naturaleza.

Tal sentido *dinámico,* precisamente, de liberación del hombre de las fuerzas espontáneas y de supeditación de éstas al hombre permite establecer la conexión inmediata entre la humanización como eje del progreso y la ciencia fundamental: base del dinamismo máximo de la producción y de la civilización en conjunto.

Dirijámonos al hombre como organismo íntegro con un complejo sistema de procesos fisiológicos. ¿Qué es lo que puede proporcionar a este sistema la ciencia fundamental?

Recordemos el pronóstico expuesto ya sobre la dirección de los procesos fisiológicos al nivel de célula. En otros términos, no sólo sobre la influencia en el conjunto estadístico de las células, sino también sobre la influencia en una célula o en un pequeño número no representativo estadísticamente. La precisión inusitadamente alta del haz laser permite al fisiólogo y al médico pasar del tiro sobre zonas al tiro contra blancos individuales. Aquí pueden aplicarse, además de flujos de fotones, partículas relativistas con una masa no igual a cero. En dependencia de la velocidad cambia la vida de la partícula. Al comunicar a la partícula una u otra energía, se puede lograr que su longevidad le permita llegar a cierto punto en el tejido vivo, desintegrándose posteriormente.

En semejantes procesos se conserva el carácter estadístico de las regularidades: no se determinan los acontecimientos –impactos de los fotones u otras partículas en las células–, sino nada más que sus probabilidades. Estas últimas se hacen realidad si es grande el número de pruebas. Pero la estadística actúa aquí no desde el lado de las células, sino desde el lado de las partículas: su flujo contiene gran número de

partículas, estadísticamente representativo, lo cual garantiza el impacto en una célula determinada.

De modo análogo actúa la genética de radiación, de la cual se ha tratado ya. En este caso, al conjunto estadístico de partículas no se opone el conjunto estadístico de organismos con la selección de los cambios necesarios en varias generaciones, sino un solo organismo. La genética médica infunde esperanza en la desaparición de las enfermedades hereditarias en el tiempo que resta del siglo XX. La humanidad tiene una esperanza más que puede convertirse en pronóstico real. Esta esperanza consiste en acabar con el cáncer en el curso del próximo decenio. No está excluido que el descubrimiento de métodos altamente eficaces de curación del cáncer estará vinculado con la terapéutica de radiación.

Puede ser que la desaparición del cáncer se deberá a descubrimientos más generales, que revelarán todo el mecanismo que dirige los procesos histológicos en el organismo. La dirección de estos procesos eliminará el desarrollo fatalmente incontrolado de los tejidos, que conduce a la aparición de tumores malignos.

Otro problema de la medicina y la fisiología consiste en descubrir el mecanismo que regula el metabolismo en el organismo y la dirección de este proceso. La solución de este problema, si no suprime, frenará esencialmente y disminuirá la esclerosis y las enfermedades vinculadas con la misma. Pero aquí surge lógicamente otra cuestión: ¿tiene un límite la supresión sucesiva de las causas de la muerte? Es la cuestión de la inmortalidad. En este caso, la palabra "surge", quizá, no conviene del todo, pues los hombres siempre pensaban en la inmortalidad, desde el comienzo mismo de la civilización, desde la aparición del género humano en la Tierra. No se trata ya de la sensación local de la inmortalidad de la razón, de la inmortalidad de lo que llena la conciencia del hombre; de eso se habló ya en la primera parte del libro, en el capítulo *Optimismo e inmortalidad.* Aquí se trata de una cuestión fisiológica, de la inmortalidad del organismo dado, de la infinitud de la ontogenia. Esta cuestión aparece ahora en forma

nueva y bastante real. Las causas del envejecimiento y la muerte del organismo no están reveladas aún en forma terminante. En este dominio no se han descubierto ningunas prohibiciones absolutas de la inmortalidad, o sea, procesos que por su naturaleza no puedan ser interrumpidos por la acción conjunta de agentes químicos e influencias físicas a nivel de los tejidos, células y moléculas. Por supuesto, entre la ausencia de prohibiciones, por una parte, y la teoría de la vejez y la muerte y los métodos de su aplazamiento y luego también de su eliminación, por la otra, media un camino largo y, quizá, realmente inexistente. Es más razonable considerar este problema como un problema del siglo XXI. Actualmente, nada contradice la idea de que la generación que vivirá hasta el año 2000 sea la última o penúltima generación mortal. Pero en lo que resta hasta el año 2000 aparecerán, probablemente, no pocos hechos que lo contradigan. Podemos estar seguros únicamente de que las búsquedas sistemáticas del mecanismo del envejecimiento conducirán de paso a descubrimientos que prolonguen sustancialmente la vida de los hombres.

Pasemos ahora del aspecto biológico del influjo de la ciencia sobre la vida humana al problema social. Marx vinculaba las tendencias objetivas que conducen a la humanidad al socialismo con el desarrollo de las fuerzas productivas. Lenin veía en la electrificación la base tecnocientífica del pronóstico económico y social de la sociedad sin clases. Los pronósticos de la plasmación práctica de la ciencia no clásica se encuentran en el cauce de estas ideas. El análisis de las tendencias tecnocientíficas del siglo atómico demuestra que la plasmación de la ciencia no clásica requiere transformar la estructura social de la sociedad. A fines del siglo XX, el principal efecto de tal plasmación consistirá en una incesante elevación *acelerada* de la productividad del trabajo. Este proceso se realiza mediante la optimización por etapas, prácticamente ininterrumpida, de los balances y la estructura de la economía nacional. Sin tal optimización y sin la economía planificada pierde su sentido real el concepto de pronóstico,

pues este último no es una profecía, sino cierta variante del desarrollo sucesivo, que se confronta con otras en el curso de la optimización de la producción. Tal optimización requiere una posibilidad real de restructurar racionalmente la economía nacional, teniendo presente la información ininterrumpida sobre nuevas tendencias tecnocientíficas, sobre nuevas necesidades y posibilidades. La revolución tecnocientífica contemporánea aporta el máximo efecto si se elimina la anarquía capitalista de la producción. La producción moderna realiza las nuevas tendencias técnicas que surgen sin cesar, las cuales se apoyan a su vez en las bases científicas de la tecnología y la energética que evolucionan de modo continuo a escala de las ramas y de toda la economía nacional. La materialización de la ciencia moderna y sus aplicaciones en la producción pueden operarse con la aceleración máxima en una sociedad sin clases.

Por supuesto, el progreso de la ciencia por sí mismo no puede constituir la principal fuerza motriz de la transformación social. Pero la dependencia de las relaciones sociales del desarrollo de las fuerzas productivas se conserva y, más aún, crece al incorporarse sucesivamente a las fuerzas directamente productivas, primero, la ciencia aplicada y, más tarde, las propias investigaciones científicas, que crean los cánones objetivos para la ciencia aplicada, y por último, las investigaciones básicas. A este respecto quisiéramos recordar la idea de la electrificación, expuesta por Lenin en 1920. Esta idea era una síntesis de la concepción científica del desarrollo social, que encontró en el desenvolvimiento de las fuerzas productivas la base del triunfo inevitable de un régimen social armónico, y del análisis del progreso tecnocientífico, que era plasmación de la ciencia *clásica*. El plan actual de la transformación de la producción parte de la misma concepción del desarrollo social y del análisis de las tendencias de la ciencia *no clásica*.

Para concluir, toquemos la cuestión que fue objeto de preocupación de Tomás Moro, cuando esbozó en su *Utopía* el cuadro del futuro. Es una cuestión bien sencilla: ¿serán felices los hombres en el futuro que podemos prever? El

hombre posee la propiedad de acostumbrarse a condiciones que, al surgir, le infunden una sensación de felicidad. La ley de Weber-Fechner (las sensaciones crecen como logaritmos de las irritaciones) significa que, siendo invariable el estado de los factores que el hombre considera como factores de la felicidad, la sensación de ésta desaparece. Esta sensación es semejante al campo eléctrico que, si faltan cargas, existe sólo en el campo magnético alterno, con la única diferencia que la disminución de los factores no induce la felicidad. El hombre puede ser feliz al crecer y, más aún, al acelerarse el crecimiento de lo que le hace feliz.

En una sociedad armónica, la aplicación de la ciencia no clásica, que garantiza el crecimiento acelerado del poder del hombre sobre la naturaleza y del conocimiento de la misma, crea una situación sin precedentes en la historia de la humanidad. Todo lo que proporciona felicidad al hombre, comenzando por las alegrías más sencillas y terminando por las más altas –la creación y el conocimiento del mundo–, aumenta con aceleración y hace brotar en la conciencia una sensación fresca de felicidad que no languidece nunca.

Ello encierra, precisamente, la respuesta al interrogante "¿para qué?", referente al proceso integral en que se basa el pronóstico para el año 2000. Hemos hablado ya de este proceso, al tratar el efecto económico del progreso. A la pregunta de "¿para qué?", referida a la acción técnica y económica particular, sigue la respuesta: para que el índice económico fundamental reciba el valor máximo. ¿Y para qué se necesita ese valor máximo? ¿Para qué sirven el nivel máximo, el ritmo máximo y la aceleración máxima del crecimiento de las necesidades y su satisfacción, del potencial de producción, de la amplitud y exactitud de las representaciones científicas, de todos los valores culturales y de toda la civilización?

La respuesta a este "¿para qué?" es simple y, a la vez, integradora de toda la complejidad infinita del progreso científico, técnico, social y cultural. El hombre debe ser feliz. "¡Ahí están Hegel, la ciencia libresca y la razón de ser de toda la filosofía!"

III

CONCEPCION ECONOMICA DEL OPTIMISMO

FINES INTEGRALES DE LA CIENCIA

Ahora pasamos del pronóstico al plan. De la comprobación de las tendencias inmanentes de la ciencia a la intervención activa en el proceso de acumulación, puntualización y generalización de las representaciones fidedignas del mundo. En el capítulo *De rerum natura,* consagrado a los ideales científicos y los problemas más fundamentales de la ciencia contemporánea, se trató de la elección racional de las concepciones particulares que posean mayor certidumbre y aseguren un acercamiento más rápido a la verdad objetiva. Se trataba de los fines inmanentes que se plantea el investigador al formular una teoría científica y al elegir entre las teorías posibles la más próxima a la verdad. Los criterios de esta elección dimanan de la representación del mundo vinculado en un todo por la *ratio* objetiva y, a la vez, heterogéneo, supeditado a diversas leyes que no pueden ser concebidas de modo puramente lógico y que requieren para su comprensión nuevas y nuevas confrontaciones del análisis lógico con

los datos del experimento. La influencia del ideal científico sobre la elección de una concepción científica particular expresa, en el fondo, una sola cosa: la conexión entre la teoría particular y los principios más generales que constituyen la base del ideal –propio de la época dada– de la explicación científica. Expresa precisamente lo que Einstein llamara perfección interna de la teoría. Pero la aspiración al ideal científico comprende también el criterio de la justificación externa: con los principios generales se enlazan las concepciones comprobadas por vía empírica.

Ahora se trata de una cosa distinta. No es ya la cuestión de para qué se hacen unos u otros experimentos, para qué se elaboran unas u otras concepciones, para qué avanza la ciencia por unos u otros senderos particulares, de los cuales se compone su camino general. A estas cuestiones responden los criterios puramente gnoseológicos mencionados. Ahora se nos plantea una cuestión distinta: ¿para qué avanza la ciencia por su camino general? Cuestión un tanto análoga se planteó al final del ensayo sobre la civilización postatómica y se refería al desarrollo económico, su velocidad y aceleración. Sin embargo, aquí, donde se trata de la ciencia, del proceso del conocimiento en conjunto, no se puede ya limitarse a una alusión a la naturaleza del hombre, a su afán de felicidad, a la necesidad no sólo de ampliar su poder sobre la naturaleza y los datos sobre la misma, sino también de acelerar el proceso de tal ampliación. La cuestión de "¿para qué se necesita la ciencia?", o sea, la cuestión que puede llamarse "problema de la razón de ser de la ciencia", comprende el aspecto cuantitativo: ¿para qué invierte la sociedad una parte de sus recursos materiales e intelectuales en investigaciones científicas? y, más aún, comprende la siguiente cuestión: ¿qué parte, precisamente, de sus recursos materiales e intelectuales debe invertir la sociedad en investigaciones científicas?

En cuanto surge tal cuestión, en cuanto aparece el concepto de *estructura* de los recursos que gasta la sociedad y de la correlación entre los diversos gastos, la ciencia aparece

de inmediato ante nosotros como parte de la actividad racional general de la sociedad, figurando en el balance del trabajo social; y la determinación de la finalidad general de la ciencia se convierte en un problema económico, en un problema del efecto económico integral de la ciencia.

Abordaremos este problema después de hacer algunas observaciones referentes al influjo de la ciencia moderna sobre el trabajo; sobre el sujeto del trabajo: el hombre mismo; sobre el carácter del trabajo y su contenido, y sobre la naturaleza como objeto de trabajo, como conjunto de los procesos materiales que el trabajo compone de modo racional.

Al considerar la ciencia como elemento de la actividad racional del hombre, elemento vinculado con otros por una estructura común, no introducimos elementos pragmáticos en la definición de la ciencia. Estudiamos la ciencia en su aspecto económico, pero precisamente en un aspecto. Las definiciones de la ciencia como reflejo del mundo, como forma de la conciencia social y como actividad racional no son definiciones de partes, sino de aspectos de un todo indivisible y, además, cada aspecto parece separado sólo en la aproximación estática: en la dinámica, en el movimiento, en la historia de la ciencia, estos aspectos se funden y, hablando en general, no pueden ser separados.

En la aproximación estática, la finalidad de la actuación productiva del hombre es el consumo en forma muy simple: existen ciertas necesidades del hombre, cierta estructura de las mismas, y la producción, por su estructura, debe corresponder a la del consumo. Las necesidades mismas, por su contenido fisiológico, sicológico, tecnológico, etc., determinan el trabajo racional concreto, mientras que la estructura de las necesidades determina la distribución del trabajo homogéneo por ramas. Puesto que la ciencia, como actividad racional, es trabajo, ella forma parte de esta distribución y en este sentido su finalidad es el consumo: en resumidas cuentas, la necesidad del saber, de la información, al tratarse de la estructura de los gastos de trabajo, de la distribución

del trabajo homogéneo, es una magnitud conmensurable con las necesidades de alimentos, ropa, etc., y con las necesidades de energía eléctrica, combustible, materia prima, máquinas... Pero en cuanto la aproximación estática deviene insuficiente, en la economía de la ciencia irrumpen sus caracterizaciones gnoseológicas, exigiendo cierta generalización el concepto mismo de consumo. La ciencia es el reflejo de la naturaleza infinita por su complejidad y dinámica por su ser mismo. La ciencia es un proceso ya por su definición gnoseológica de partida. Es una forma de la conciencia social y es imposible sin las normas y puntos de partida elaborados por la conciencia, pero ella misma, al desarrollarse, modifica estas normas y puntos de partida. La ciencia es dinámica por su esencia, y la ciencia no clásica convierte este dinamismo en fenómeno radical y patente. Hace patente asimismo el nexo de la ciencia con el dinamismo radical de la economía. Si la ciencia se considera desde el punto de vista económico, su finalidad es el consumo. Pero si la economía se considera desde el punto de vista de la ciencia y se toma en consideración respectivamente su dinámica, el consumo en el sentido tradicional, como estructura consolidada del trabajo social, cede lugar al consumo *dinámico.*

Sería erróneo presentar las cosas como si en una producción dinámica el consumo dejase de ser finalidad y, a la vez, condición de la producción. No, el consumo sigue siendo finalidad y condición de la producción y la reproducción, pero cambia sustancialmente su carácter y estructura.

En el consumo dinámico, o sea, en el consumo que con su estructura no tanto consolida como modifica, hace avanzar y transforma la estructura de partida de la producción, se distinguen con nitidez los componentes correspondientes a los del índice económico fundamental: para mantener la productividad existente del trabajo hay que satisfacer unas necesidades; para su crecimiento, otras más complejas y para acelerarla, otras más complejas aún, hasta los fines científicos y culturales *desinteresados* que conocemos ya, que se convierten en necesidad del hombre cuya satisfacción pro-

porciona un gran "provecho" a la dinámica de la producción, y, además, a una dinámica más alta: al *aceleramiento* de los índices de la producción.

En el consumo dinámico crece la proporción de la información. Su consumo tiene una particularidad muy específica. Una vez, François Perroux señaló que las ideas, al percibirse, no desaparecen, como cosas consumidas, sino que se conservan. Y, más aún, producen un "efecto de resonancia" sin desaparecer; pero encontrando en nuevas ideas confirmación, especificación y plasmación concreta. La ciencia posee tal capacidad no lineal de autoaceleración. Esta función de la ciencia es, precisamente, la que da un efecto dinámico más potente.

¿Se puede unificar los componentes del consumo en un concepto único, obteniendo el fin integral de la actuación científica del hombre? El fin que esté vinculado con las características generales de la ciencia y, a la vez, no se agote con ellas, las ligará a algo más general, que englobe no sólo la ciencia, sino también el desarrollo de la civilización.

Como se ha dicho ya, el concepto de fin separa al hombre de la naturaleza sin el hombre, y del "hombre sin el hombre", (o sea, del hombre cuyo ser está supeditado por completo a las leyes de la naturaleza, sin la libertad de elección, que es una premisa del fin, del plan y del trabajo). "El hombre sin el hombre" es el hombre cuyo trabajo está deshumanizado. Todo el desarrollo de la civilización es una ampliación sucesiva de la actividad racional del hombre, su liberación de la necesidad, de la subordinación a las fuerzas espontáneas, que no tienen finalidad, de la subordinación a los elementos de la naturaleza y a las regularidades espontáneas de la sociedad. Esta liberación es el exponente de la civilización, la medida del camino recorrido por el hombre desde que se separó de la naturaleza, desde que apareció la civilización humana en la Tierra.

En la segunda parte del presente libro se ha dicho ya que la productividad del trabajo social y sus derivadas son la medida natural de las fuerzas y objetos de la naturaleza racional-

mente compuestos. El trabajo consiste precisamente en esta composición racional. En la ciencia como reflejo de la naturaleza, el hombre aparece como *Homo sentiens*, que posee medios de comprensión sensual del mundo que evolucionan históricamente. En la ciencia como forma de conciencia social el hombre actúa como *Homo sapiens*, que posee métodos lógicos de conocimiento del mundo que se desarrollan. En la ciencia como actividad racional, el hombre aparece como *Homo construens*, hombre constructor, que cambia la composición natural de las fuerzas de la naturaleza, hace realidad sus propios fines y elige de antemano los resultados previsibles de los procesos objetivos y, respectivamente, las condiciones iniciales de estos procesos.

¿Se puede considerar que la finalidad general, integral, de la ciencia consiste en ampliar sucesivamente la actividad racional del hombre, en liberarlo de las fuerzas espontáneas y en pasar de los procesos cuasirracionales en la naturaleza a los procesos racionales? Esta finalidad significa la subordinación al hombre tanto de las fuerzas espontáneas de la naturaleza como de las fuerzas espontáneas, ciegas, de la sociedad, o sea, "el salto del reino de la necesidad al reino de la libertad". Este paso se apoya en la liberación de la esencia misma del trabajo, como actividad consciente, libre y creadora, respecto de la estructura social antagónica que lo enajena.

¿Cuáles son los fines concretos de la ciencia que dimanan del mencionado fin general, integral?

Estos fines se determinan por la etapa actual de la superación de las leyes espontáneas y ciegas del ser social. Se determinan, además, por los éxitos de las ciencias naturales y la aplicación de la ciencia no clásica, por la penetración de los procesos controlados por el hombre en los campos subnucleares, de un lado, y en los campos extraterrestres y circunterrestres, de otro. Los fines actuales de la ciencia, realizables con la planificación de la economía nacional, que comprenda la planificación de la ciencia y se apoye de modo sustancial en ella, se refieren al hombre mismo, a su trabajo y a las riquezas naturales. En la medida que el "hombre mis-

mo" puede ser separado del trabajo, la finalidad de la ciencia consiste en alargar la vida, eliminar las enfermedades y elevar el consumo. Respecto al caracter del trabajo, la finalidad de la ciencia consiste en el paso ininterrumpido a funciones cada vez más dinámicas como principal contenido del trabajo: en el paso del mantenimiento de los procesos estacionarios a la regulación de cargas y regímenes variables; luego, al cambio radical de los procesos tecnológicos y, más tarde, a la modificación de los principios cada vez más fundamentales, materializados en la tecnología y los diseños.

En cuanto a los recursos naturales, la lucha por su empleo racional y la protección de la naturaleza contra el agotamiento y la contaminación constituyen el comienzo de una tendencia muy general y de largo alcance. El conjunto de los objetos naturales controlados de una u otra manera por el hombre engloba, como se ha dicho ya, una gama que comienza con el mundo subnuclear y termina con toda la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera de la Tierra (algunos procesos provocados conscientemente –viajes cósmicos y señales de radar enviados a distancias muy grandes– van mucho más lejos). Al mismo tiempo, aumenta la escala temporal de los procesos controlados. El trabajo del hombre, por su envergadura e influencia sobre la dinámica subsiguiente de la producción, predetermina no sólo cambios planetarios en el sentido espacial, sino también modificaciones que se producen durante decenios y hasta siglos. Por eso, en el presente, el trabajo no puede menos de estar acompañado de un peculiar cálculo planetario-secular. En sus faenas, el hombre actúa como iniciador y controlador de los procesos planetarios y seculares de la naturaleza. En eso también se plasma la liberación del hombre y su trabajo. En el fondo, el proceso mencionado es la finalidad integral y unitaria de la ciencia.

Sus versiones concretas no se agrupan ya según disciplinas particulares, lo cual también constituye un exponente y vía de elevar el potencial de la racionalidad en la Tierra. Las disciplinas formadas agrupan los conocimientos según los campos de la naturaleza, independientemente de la composición

racional de sus procesos y, de este modo, reflejan "la naturaleza sin el hombre". Por el contrario, las actuales iniciativas científicas *complejas* pasan a formar la ciencia como actividad racional. El aumento del consumo es un conjunto casi indivisible de problemas físico-energéticos, edáfico-geológicos, biológicos, biológico-moleculares y químicos. La prolongación de la vida radica en la física, la química, la biología, etc. La transformación del carácter del trabajo se apoya, ante todo, en la cibernética, o sea, en las matemáticas y la física, pero la realización de las posibilidades de la cibernética afecta a todas las disciplinas. El uso racional y la protección de la naturaleza no es sólo un ovillo de problemas geográficos, geológicos y biológicos, sino también de problemas tales como el paso del uranio al torio en la energética atómica.

Se trata de las ciencias naturales. En ellas, en la doctrina sobre la naturaleza, los fines de las ciencias figuran como fines. En las ciencias sociales, estos últimos resultan efectos determinados, y en el campo contiguo –la historia y la teoría de la ciencia–, efectos e impulsos. Si se trata de los efectos, de los acontecimientos causalmente determinados, y no de los fines, las ciencias naturales son un monólogo de la naturaleza; las ciencias sociales, un monólogo del hombre, y la historia de las ciencias naturales y de la técnica, un diálogo entre el hombre y la naturaleza.

Volvamos, empero, a los fines de la ciencia, al fin integral mencionado ya, a la transformación del trabajo, de su sujeto, contenido y objeto. El sujeto del trabajo es el hombre. Este último tiene derecho, ante todo, a contar con una duración máxima de vida en las condiciones actuales y con una conservación máxima posible de capacidad de trabajo. A este problema se dedicó el último capítulo de la primera parte de este libro. Aquí agregaremos a lo que queda expuesto una breve observación.

Se puede pensar que en cuanto a este problema, en el campo de las bases teóricas de la medicina y, respectivamente, en la práctica clínica, la ciencia no clásica se encuentra en el umbral de una reacción en cadena de eficiente aplicación

tan potente como las observadas en las décadas de los años cuarenta y cincuenta en la energética, y en la década de los años sesenta en la cibernética. No se trata del empleo de efectos relativistas y cuánticos en la medicina, aunque, por ejemplo, la radiación con partículas relativistas puede resultar una dirección muy importante. Se trata del ascenso general del potencial intelectual, de los métodos de análisis matemático y de las posibilidades de experimentación. Este ascenso, originado en última instancia por la ciencia no clásica, abarca también campos y problemas clásicos. Del pronóstico objetivo –posibilidad de un nuevo auge vertical de las bases teóricas de la medicina contemporánea– y de la finalidad integral de la ciencia dimana cierto cambio estructural: la concentración de esfuerzos en la disminución sustancial y la curación eficaz de las enfermedades cardiovasculares, oncológicas, víricas y hereditarias.

Los intereses del hombre, que son el principal componente de la finalidad integral de la ciencia, se concretan en la concentración de fuerzas en el problema de la alimentación: obtención de productos sintéticos y, como dirección principal, en vertical aumento de la eficacia de la agricultura.

El segundo componente de la finalidad integral de la ciencia es el cambio del carácter del trabajo, el crecimiento del peso específico de las funciones creadoras, reconstructoras, en el contenido del trabajo y se apoya, durante su realización, en dos pronósticos objetivos: uno de ellos se refiere más que nada al pensamiento teórico, y el otro, a la aplicación práctica. Es la matematización de la ciencia, y en el campo de la aplicación, la perspectiva de una rápida e irresistible introducción de las máquinas electrónicas, que desde ahora permiten crear y reproducir procesos prácticamente aplicables y cada vez más complejos a medida que sus esquemas van adquiriendo un carácter cuantitativo. En la tecnología moderna (lasers, procesos nucleares y de radiación), la energética (energía atómica), la medicina y la economía, los métodos nuevos por su carácter y envergadura vienen acom-

pañados de operaciones cuantitativo-numéricas, coincidiendo a veces con ellas. Por eso, las matemáticas teóricas y aplicadas (actualmente son prácticamente inseparables: el empleo de las matemáticas requiere modificar sus bases) pasan a ser una fuerza iniciadora y condición de la transformación del carácter del trabajo. Semejante situación casi no tiene analogías históricas, en el fondo, no tiene precedentes: la *síntesis* de la ciencia coincide con su aplicación.

El tercer componente de la susodicha finalidad –composisición racional de los recursos naturales actuales y potenciales– se apoya actualmente en la evolución sucesiva de la energética atómica, en el paso a los reactores de neutrones rápidos, que orienta la energética al empleo de materias primas existentes en abundancia y de combustible renovable. Pero no es más que un elemento de las investigaciones físico-energéticas, químico-tecnológicas, geológicas, geográficas y biológicas, que crean las bases científicas de la protección y la transformación del medio ambiente.

El nexo de la transición a las bases no clásicas de la técnica con los fines actuales de la ciencia puede observarse desde todos los lados, desde el lado de la energética, la tecnología, el carácter del trabajo y el sistema de aprovechamiento de los recursos naturales. Tomemos, a título de ejemplo, el aspecto tecnológico. La liberación radical del hombre de la subordinación a las leyes de la naturaleza y la enérgica recomposición de los objetos del Universo y las fuerzas de la naturaleza comprenden, como tarea tecnológica, *la producción de todo a base de todo,* o sea, la obtención de cualesquiera sustancias con propiedades determinadas de antemano empleando cualesquiera sustancias de partida. Esta tarea está vinculada tanto con la energética (para la recomposición de partículas a nivel nuclear se necesitan grandes energías) como con el sistema de uso de los recursos naturales ("a base de todo" quiere decir "a base de las sustancias que son fácilmente accesibles, están concentradas en potentes yacimientos inagotables durante muchos años y que, al extraerse y reelaborarse, no violan los requisitos ecológicos").

"Todo a base de todo" no significa sólo reagrupar las moléculas y los átomos, pues en la sustancia de partida pueden faltar los que se necesitan. Es el reagrupamiento en el mundo subnuclear. En él se reagrupan objetos cuánticos, partículas para las cuales es esencial la combinación de las propiedades corpusculares y ondulatorias, o sea, la síntesis de la jerarquía de las partículas discretas y la jerarquía del espectro de las radiaciones. La ciencia no puede avanzar hacia sus fines actuales sin modificar su base fundamental, sin incluir las correlaciones cuánticas en el número de sus principios de partida.

La revolución tecnocientífica planificada es un proceso de transformación racional de los elementos subjetivos y objetivos de la producción y se encauza hacia el pronóstico óptimo que corresponde en el mayor grado a sus fines integrales. De lo que queda dicho se deduce que la revolución tecnocientífica contemporánea debe ser ineludiblemente la plasmación de la ciencia no clásica.

Las tareas enumeradas de la ciencia, realizadoras de su finalidad integral, demuestran una particularidad de la ciencia contemporánea muy interesante desde el punto de vista teórico y práctico, que tiene relación inmediata con la dinámica de su estructura. En la economía nacional, los principios no clásicos, además de originar nuevas ramas, dan impulso a las viejas, provocan resonancia en ellas y surten un efecto que pasa de una rama a otra casi sin variar el factor de atenuación. A semejanza de ello, en la ciencia, los principios nuevos, no clásicos, además de plantear nuevos problemas y dar origen a nuevas direcciones de la investigación y nuevas disciplinas, conducen a la reinterpetación de los viejos problemas clásicos. Desde el punto de vista de la finalidad integral de la ciencia, los procesos nucleares llevan a la necesidad de estudiar y resolver problemas que, al parecer, son muy distantes y completamente clásicos por su carácter.

De ahí dimana que los resultados de la ciencia no clásica no producen una brusca reducción del frente de trabajos en los dominios de la ciencia donde estos resultados no se mate-

rializan directamente. El siglo atómico dio vida a muchas disciplinas nuevas, sin eliminar ni disminuir siquiera la importancia de ninguna de las viejas ramas de la ciencia. Los principios no clásicos no sólo conservan, sino también aumentan el volumen de las investigaciones en las ramas tradicionales. En busca de la explicación de este nexo se puede llegar probablemente al principio de la correspondencia: puesto que las representaciones no clásicas se transforman en clásicas allí donde los correspondientes procesos adquieren una envergadura especialmente importante para la actividad práctica, la evolución de las concepciones no clásicas es inseparable de la aproximación clásica. Por eso, el aumento del potencial intelectual y todo lo vinculado con ello engloba todos los dominios de la ciencia, dando impulso por doquier a la ampliación y la profundización de las investigaciones.

La ampliación exponencial general de los medios que se invierten en la ciencia, por lo visto, debe disminuir en cierta etapa. Recordemos las ilustraciones humorísticas, precitadas en el capítulo dedicado a la información, de la progresión geométrica inextinguible de la producción. En cuanto a la ciencia, se puede añadir a estas ilusiones pronósticos sobre un número de científicos superior al número de habitantes de la Tierra y sobre una tirada de revistas científicas que cubra toda la superficie del planeta con una gruesa capa en constante aumento. Se encontrarán métodos más eficaces para almacenar y transmitir la información, que producirán la sucesiva aceleración del progreso científico, disminuyendo los gastos. Pero mientras tanto, este viraje fundamental puede acercarse en el tiempo a condición de que se amplíen las inversiones en la ciencia. Huelga decir que esto no significa la ampliación máxima concebible. Sabemos que existe una proporcionalidad de las inversiones en los pisos del edificio de la ciencia, y el tamaño de cada piso debe subordinarse al proyecto arquitectónico general, que comprenda la distribución óptima del tamaño. Pero una proporcionalidad análoga determina también el tamaño de la ciencia en conjunto. La ciencia como

actividad racional es parte del trabajo, o sea, de la influencia racional del hombre sobre la naturaleza y sobre sí mismo. La arquitectónica de tal influencia determina tanto los fines de la ciencia como el tamaño óptimo de las inversiones en ella, que es parte de la distribución racional de fuerzas, de la estructura racional de los esfuerzos laborales de la sociedad.

Los conceptos de estructura y de tamaño óptimo son conceptos fundamentales de la teoría de la planificación. Son necesarios para pasar de la teoría del pronóstico a la de la planificación y para imprimir al concepto de optimismo su sentido contemporáneo, en particular, métrico, para considerar el optimismo como medida de correlación de lo existente y lo debido, de comprobación y fin, de pronóstico y plan.

Al sentido métrico del optimismo está dedicado un ensayo especial de este libro *(Econometría del optimismo).* Aquí podemos limitarnos a hacer una sola observación. Al optimismo corresponde, como equivalente métrico, la medida de correlación entre el pronóstico y el plan: cierta magnitud máxima (o magnitud mínima inversa), análoga, por ejemplo, a la integral de acción en mecánica. Esta magnitud define, en el plano general, un determinado sistema compuesto de elementos mensurables, y el máximo de la integral se obtiene en la estructura óptima del sistema, cuando los valores de las magnitudes que miden los elementos de este sistema son óptimos. En la primera parte del presente libro se anotó ya que a partir de Galileo, el optimismo se hizo dinámico; las esperanzas del hombre engloban no sólo y no tanto los niveles como las derivadas, las velocidades del cambio, y el ideal de una existencia inmóvil, estable, ha dejado de ser una perspectiva optimista. Respectivamente, estudiamos las estructuras dinámicas, donde las características óptimas de los elementos y su resultado máximo no se refieren sólo a los niveles, sino también a las derivadas en el tiempo.

En la naturaleza (¡en la naturaleza sin el hombre!), la determinación de la magnitud óptima y del cambio óptimo de los elementos puede producirse de modo estadístico, *post*

factum. En el mundo vegetal, la correspondencia entre las condiciones del medio y la magnitud de la población se establece como resultado de la muerte de la mayor parte de esta última. En mecánica, la existencia y el movimiento del sistema se garantizan *ante factum* por los nexos que limitan el número de los grados de libertad. El hombre se caracteriza por la definición *ante factum* de su aporte a la evolución del mundo a través de la representación formada de antemano sobre el resultado de los cambios que introduce en los procesos de la naturaleza. Esta representación figura como finalidad, y la actuación del hombre se convierte en actuación racional, en trabajo. Semejante representación se apoya en la observación de los fenómenos de la naturaleza y en su síntesis, o sea, en el estudio científico de la naturaleza. Si la actuación del hombre no se subordina a la finalidad, sino a cierta analogía de conexiones mécanicas, si la dirección óptima y los límites de esta actuación corresponden al equilibrio estático o dinámico de la producción social únicamente *post factum*, si los procesos macroscópicos alcanzan el resultado integral a través del olvido estadístico de los destinos individuales, tenemos ante nosotros el trabajo privado de su contenido más importante y verdaderamente humano: el *trabajo enajenado*.

Nos hemos acercado al concepto que desempeñó un papel sustancial en la génesis de la concepción económica de Marx, pero que no entró en su formulación definitiva. Por lo visto, el destino de este concepto permite penetrar más a fondo en su sentido.

La desaparición de la "enajenación" no fue abandono del problema, sino solución del problema, en el sentido de "anular", modificar y conservar éste en forma radicalmente modificada. Solución en el sentido de una vuelta nueva, más alta, de la espiral del conocimiento. El problema considerado anteriormente como netamente filosófico resultó ser también un problema económico. Este último no perdió su carácter filosófico. En la economía, la producción y el trabajo se resuelven los problemas cardinales de la filosofía, ante todo,

el problema de la autenticidad del conocimiento y, luego, en relación con él, los problemas del ser del hombre. El camino recorrido por Hegel, de la economía política (crítica a Adam Smith y otros intereses tempranos en el dominio de la economía política) a la filosofía, fue la renuncia a la solución concreta de los problemas concretos. El camino de Marx fue la solución concreta de problemas que parecían abstractos, pero, en el fondo, eran una simbiosis de las malditas cuestiones que durante siglos martirizaban la razón y la conciencia de la humanidad. Hegel, a partir de la *Fenomenología del espíritu*, elude los problemas sociales y las contradicciones económicas que tanto le preocupaban antes. Huye de ellos refugiándose en una torre de marfil, en la torre del pensamiento puro, huye al espíritu absoluto que se desarrolla, presente en la naturaleza inmóvil.

Kierkegaard, quien consideraba ilusorio el camino de Hegel, no veía el camino real hacia la conciliación del hombre con la naturaleza. Predicó la derelicción. En la naturaleza no existe nada común al hombre. La naturaleza es inmortal e infinita, mientras que el hombre es mortal y limitado en el espacio. Kierkegaard no vio en la ciencia del siglo XIX nada excepto las leyes absolutas que excluían la autonomía individual de los elementos finitos de la naturaleza y, por eso, eran ajenas y hostiles al hombre mortal, que no posee más que ser local. En nuestros días se repite a veces esta apreciación pesimista. Pero estas repeticiones se diferencian del solitario gemido verdaderamente trágico del pensador danés, ante todo, por la demostración coquetona y engreída en extremo del pesimismo artificial (no podemos menos de recordar la *Fenomenología del espíritu*, donde Hegel traza la distinción entre la "conciencia dolida" y "el dolor universal contemporáneo cuyos exponentes se preocupan demasiado de su desgracia y la exhiben demasiado para ser infelices de verdad"). Los epígonos modernos de Kierkegaard se diferencian de él también por no ver en la naturaleza su comunidad con el hombre precisamente en el momento en que la ciencia no clásica demuestra esta comunidad con especial evidencia.

En Marx, la concepción de la enajenación se opone tanto al camino de Hegel como al camino, más bien, a la negación del camino en Kierkegaard. La evolución misma de la concepción de enajenación en Marx fue en cierto sentido inversa a la de evolución de Hegel. Marx descubrió la base real de la tendencia del pensamiento pesimista –que atraviesa toda la historia del pensamiento social y la sicología social– sobre la mortalidad y la soledad de la razón individual ante la naturaleza infinita. La objetivación del hombre y la transformación de la naturaleza la hacen humana. En los manuscritos económico-filosóficos de 1844, Marx dice que la industria humaniza a la naturaleza y revela la auténtica ligazón del hombre con la naturaleza, la esencia natural del hombre:

"La *industria* es la actitud histórica *real* de la naturaleza y, por tanto, de las ciencias naturales hacia el hombre. Por eso, si se la considera como revelación *exotérica* de las fuerzas humanas *esenciales,* se comprenderá mejor también la esencia *humana* de la naturaleza o la esencia *natural* del hombre"[1].

Esta concepción –muy profunda e íntimamente vinculada en el sentido lógico con las posteriores ideas económicas de Marx– de la humanización de la naturaleza y de la revelación de la esencia natural del hombre se recuerda siempre al analizar la evolución histórica de la industria y las ciencias naturales. La evolución mencionada elimina en efecto la ilusión sobre una naturaleza inmóvil e infinita, ajena al hombre finito y mortal. En el trabajo, el hombre se exterioriza, rebasando el marco del ser netamente local. Compone las fuerzas espontáneas de la naturaleza, eleva el nivel de la entropía negativa de la naturaleza, y ésta aparece ante el hombre como conjunto de esencias humanas, de objetos de la actividad racionalizadora humana (¡verdaderamente humana!), y esta actividad misma, es decir la acti-

[1] C. Marx y F. Engels. *De las obras tempranas,* ed. en ruso, Moscú, 1956, pág. 595.

vidad verdaderamente humana, la fuerza humana "esencial", como dice Marx, revela su ligazón con la naturaleza, resulta la "esencia *natural* del hombre".

La ilusión sobre una naturaleza ajena al hombre se apoya en la enajenación completamente real del trabajo. Si el trabajo está enajenado, si está supeditado a una jerarquía antagónica, como se observa en la sociedad dividida en clases, la individualidad del hombre no realiza en el trabajo su función de composición consciente de las fuerzas de la naturaleza y de descubrimiento de la *ratio* del mundo. En otros términos, el trabajo se separa de la ciencia.

El concepto de enajenación, estudiado tan circunstanciadamente en los *Manuscritos económico-filosóficos* y, en general, en las obras escritas por Marx en los años cuarenta, como se ha dicho ya, desapareció más tarde de sus obras. Desapareció porque se plasmó en el sistema de categorías económicas directas de *El Capital.* Pero dicho concepto pone de manifiesto también ahora la lógica de *El Capital,* su ligazón con los intereses propiamente filosóficos de Marx y la importancia de las categorías económicas e implicaciones del trabajo para la evolución del optimismo.

En particular, la concepción de Marx de la enajenación permite ver con mayor relieve la ligazón entre los conceptos de trabajo, optimismo y libertad.

Cualquiera que sea la definición que se dé a la libertad, debe conservarse en ella la idea espinosiana sobre la revelación de la verdadera esencia, en oposición a la influencia de impulsos exteriores. La revelación de la verdadera esencia es propia de la *natura naturans,* y la dependencia respecto de los impulsos exteriores es propia de los modos. El trabajo es la revelación de las funciones propias del hombre; en este sentido, el trabajo es la realización de la libertad, pero el trabajo parte de fuerzas y regularidades de la naturaleza, que no dependen de él. En este sentido pertenece al reino de los modos, al reino de la necesidad. La evolución del trabajo es una revelación cada vez mayor de las particularidades internas inmanentes al hombre. La etapa

principal de esta evolución es el paso del trabajo enajenado en la producción antagónica al libre trabajo asociado. En el tercer tomo de *El Capital,* Marx dice: "La libertad, en este terreno, sólo puede consistir en que el hombre socializado, los productores asociados, regulen racionalmente su intercambio de materias con la naturaleza, lo pongan bajo su control común en vez de dejarse dominar por él como por un poder ciego. . .

"Pero, con todo ello, siempre seguirá siendo éste un reino de la necesidad. Al otro lado de sus fronteras comienza el despliegue de las fuerzas humanas que se considera como fin en sí, el verdadero reino de la libertad que, sin embargo, puede brotar únicamente de este reino de la necesidad, como de su base"[2].

En estas líneas estriba la quintaesencia de la concepción económica del optimismo. El concepto de partida es el intercambio de materias con la naturaleza, la influencia sobre la naturaleza, la influencia de ésta en el hombre, el conjunto de los torrentes de materia y energía producidos por las manos y, en última instancia, por el cerebro del hombre y que provocaron a su vez, la evolución del hombre mismo. Estos torrentes están ligados a fines conscientes, a la actividad racional, al trabajo. Pero mientras todo el conjunto del intercambio de materias con la naturaleza no se regule por el *hombre socializado,* o sea, por los productores asociados, mientras los fines de los distintos actos de producción no estén unificados y broten de leyes sociales espontáneas y ciegas, el trabajo en conjunto, la producción en conjunto y el intercambio de materias con la naturaleza en conjunto no se convierten en actividad racional, están subordinados a las fuerzas espontáneas, y dominan al hombre en vez de supeditársele.

Pero he aquí que se produce "el salto del reino de la necesidad al reino de la libertad". No sólo los distintos actos de producción, sino toda la producción en conjunto queda

[2] C. Marx y F. Engels. *Obras,* t. 25, parte II, pág. 387.

supeditada a la voluntad colectiva de los productores. La necesidad sigue reinando. No es ya la necesidad en forma de fuerzas sociales ciegas, sino la necesidad, la regularidad, el carácter objetivamente lógico de los procesos de intercambio de materias entre el hombre y la naturaleza. Mas, gracias precisamente a esta necesidad, en su base crece "el verdadero reino de la libertad". El desarrollo de las fuerzas humanas es un fin en sí, en el sentido de que la felicidad del hombre, su longevidad, la evolución de su intelecto, emociones y moral, la transformación de su trabajo y la concentración de sus fuerzas intelectuales en el cambio cada vez más radical de la producción, en el conocimiento cada vez más pleno y la transformación del mundo –ese verdadero despliegue de las fuerzas humanas– no servirá ya a nada que no sea este objetivo integral del hombre.

LA CIENCIA Y LA DINÁMICA ECONÓMICA

En el *Discurso sobre las artes y las ciencias*, Juan Jacobo Rousseau recuerda una leyenda que llegó a Grecia de Egipto y en la cual se dice: "Las ciencias fueron creadas por una divinidad hostil a la tranquilidad humana". Huelga decir que ni los egipcios, ni los griegos, ni Rousseau sospechaban cuán profundo y rico en matices devendría el nexo adivinado por la leyenda entre la ciencia y la alteración de la tranquilidad humana. La ciencia no clásica, cuántico-relativista, la altera del modo más apasionado. Esta ciencia misma está penetrada de inquietud y carece de la seguridad victoriana en la inmutabilidad de los axiomas científicos. Su aplicación provoca no sólo angustia por el destino del mundo, sino también una "ansiedad sagrada" que se opone al estancamiento y la estática y está vinculada con los pronósticos sobre un rápido y acelerado crecimiento del poderío material y espiritual de la humanidad.

Vamos a tratar precisamente este don positivo de la divinidad voluble. Lo trataremos en un plano un tanto axio-

mático. El dinamismo es tan típico de la producción moderna, las fuerzas transformadoras de la estructura económica son tan grandes y eficaces, que en el presente es imposible considerar ya las regularidades dinámicas como enmiendas empíricas a las principales regularidades estáticas o cuasiestáticas. Por el contrario, las regularidades dinámicas deben deducirse de la ley fundamental. Además, se aclara una naturaleza dinámica, más profunda, de la ley fundamental y el carácter aproximado de su interpretación estática.

En el presente caso se trata de conceptos que adquirieron una comunidad muy grande y capacidad de tomar nuevas formas al pasar a nuevos fenómenos económicos. Actualmente, esta capacidad se realiza en una producción cuya dinámica es más alta que antes. Desde este ángulo se hace más clara la ligazón entre las definiciones del valor y la representación sobre la dinámica económica y el efecto económico revolucionador de la ciencia.

De las representaciones de Marx sobre la ley del valor en la producción mercantil capitalista, sobre el subfondo de esta ley, propia de todas las formaciones, y sobre la significación de las balanzas cuantitativas para la producción socialista, de toda la dialéctica de *El Capital* dimana que la ley del valor no se reduce al equilibrio entre la estructura dada de consumo y la estructura de producción que se establece debido a las migraciones del trabajo. Como veremos, esta conclusión tiene importancia primordial para la teoría de la dinámica económica. En la conocida carta de Marx a Kugelmann se da la fundamentación más sencilla y más general a la ley del valor: la distribución proporcional del trabajo social es una necesidad elemental de la sociedad, independientemente de la forma de la producción social[3]. Esta fundamentación no es más que el comienzo. Luego sigue la cuestión de por qué toma la distribución proporcional del trabajo la forma de valor de los productos del mismo (esta cuestión se plantea en la misma carta a Kugelmann) y, por

[3] Véase C. Marx y F. Engels. *Obras*, t. 32, págs. 460-461.

último, la cuestión de las condiciones del paso a otras formas de realización de la distribución proporcional del trabajo y de *otras proporciones* propias de una dinámica distinta de la producción.

La referencia a la necesidad elemental, independiente de la forma social, de distribuir proporcionalmente el trabajo traslada el problema al campo de la definición de la *producción-en-general,* campo del que Marx escribiera en la introducción a la obra *Contribución a la crítica de la economía política*[4]. La producción-en-general es una abstracción razonable, pues destaca condiciones generales de la producción. No se convierte en una construcción tautológica vulgar, porque comprende la transición eventual a las definiciones concretas que dependen del grado concreto de desarrollo de la producción. Las definiciones abstractas de por sí no dan la posibilidad de comprender el carácter específico de cada etapa histórica real de la producción.

Los destinos históricos del valor y sus modificaciones no pueden ser definidos con ayuda de las categorías de la producción-en-general. En efecto, la etapa histórica de la producción se determina, ante todo, por el carácter de las fuerzas productivas típicas de la misma, y únicamente si se incluyen semejantes elementos concretos, adquieren valor cognoscitivo las condiciones abstractas. ¿En qué consiste este valor? Si comenzamos por las definiciones concretas, tendremos una representación caótica sobre el todo. "... Unicamente a través de elementos particulares –dice Marx– llegaría analíticamente a nociones cada vez más sencillas; de lo concreto, dado en la representación, a abstracciones más y más sutiles terminando en las definiciones más sencillas"[5].

Según Marx, aquí comienza el camino en dirección contraria, que lleva ya no a la representación caótica sobre el todo, sino a un "rico conjunto, con numerosas definiciones

[4] Véase ibíd., t. 12, págs. 710-713.
[5] Ibíd., pág. 726.

y relaciones". Es el método auténticamente científico. Lo concreto es la síntesis de numerosas definiciones abstractas. "Por eso actúa en el pensamiento como proceso de la síntesis, como resultado, y no como punto de partida, aunque constituye el punto de partida real y, debido a eso, también el punto de partida de la contemplación y la representación. En la primera vía, la representación completa se condensa en definición abstracta; en la segunda vía, las definiciones abstractas conducen a la reproducción de lo concreto mediante el pensamiento"[6].

No cuesta trabajo advertir que el criterio de la "perfección interna" y el método axiomático, que dieron resultados tan esenciales en todos los dominios del saber, son la realización de la vía de lo abstracto a lo concreto, señalada en la forma más general y precisa en la introducción a la obra *Contribución a la crítica de la economía política.* Por el contrario, la limitación del análisis al primer método –deducción de las nociones abstractas de lo concreto caótico no desmembrado y la representación sobre estas nociones como culminación del análisis– desbroza el camino a las definiciones arbitrarias, a su absolutización, a las definiciones generales introducidas artificialmente, *ad hoc,* para explicar algunos aspectos de la realidad concreta separados de otros.

El valor como categoría no se reduce, ni mucho menos, a una simple definición general, esta categoría es "un rico conjunto, con numerosas definiciones y relaciones" y tiene multitud de definiciones concretas. Las definiciones concretas precitadas permiten apreciar el sentido del valor en sus formas relativamente elementales. Marx decía: "La anatomía del hombre es la clave para la anatomía del mono. Por el contrario, los asomos de elementos superiores en las especies de animales inferiores pueden ser comprendidos únicamente si esos elementos superiores son conocidos ya. La economía burguesa nos da de este modo la clave para la economía antigua, etc."[7]

[6] Ibíd., pág. 727.

[7] Ibíd., pág. 731.

Si la ley del valor se estudia a la luz de la dinámica económica actual, se hace más evidente su nexo, en los tiempos clásicos, con el influjo revolucionador de la ciencia, con el paso de los vínculos tradicionales e inmutables entre las operaciones de producción a los mutables, aunque no en tal medida como en nuestros tiempos.

Para Marx (a diferencia, por ejemplo, de Ricardo), la ley del valor puede modificarse y, más aún, se modifica ineluctablemente, porque es parte de la concepción sociológica que estudia las categorías económicas en su cambio, que depende del progreso de las fuerzas productivas. En la teoría de Marx, el valor es el trabajo social con una u otra distribución proporcional entre las ramas de producción.

En la teoría económica de Marx, el trabajo abstracto es abstracción en el sentido dialéctico, abstracción que es el grado superior de lo concreto, tiene multitud de definiciones, intermediaciones y conexiones. El trabajo abstracto no elimina, sino que unifica la actividad racional del hombre, incluyendo en ella una u otra estructura que depende del desarrollo de las fuerzas productivas de la sociedad y expresa el carácter social de la producción.

La idea sobre la sociedad como sujeto de la producción y sobre el carácter social del trabajo como base del fenómeno del valor permitió ligar este fenómeno con diversas estructuras de la producción. Marx escribía a Kugelmann que la sociedad necesita una distribución proporcional del trabajo. ¿Para qué? ¿Y cuáles son las proporciones concretas y la estructura que corresponden a una u otra necesidad? Pues esta necesidad puede ser de hecho una u otra: la demanda de la reproducción sobre una base técnica de conjunto cuasiestacionaria con variaciones sectoriales de la productividad del trabajo y la reproducción basada en el crecimiento integral general en proceso acelerado de este exponente son distintas demandas que se satisfacen por proporciones distintas.

Marx consideraba la dependencia de las proporciones respecto del carácter de la reproducción y demostró cuáles

eran las proporciones que correspondían a la reproducción simple y ampliada. La reproducción ampliada, de la cual se trata en el segundo tomo de *El Capital,* tiene lugar al nivel integral cuasiestacionario, que cambia con relativa lentitud, de la productividad del trabajo social. A este nivel integral corresponde cierta estructura detallada de producción: una estructura óptima distinta se necesita para la magnitud máxima, para el ritmo máximo de crecimiento y para la aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo.

Al considerar la producción estudiada por Marx, vemos que en ella se operan incesantes cambios de la productividad del trabajo en distintas ramas. Estos cambios provocan modificaciones del valor de las mercancías y las correspondientes migraciones del trabajo de una rama a otra. La ley del valor garantiza el restablecimiento del equilibrio alterado por los cambios de la productividad del trabajo en algunas ramas. El incremento de la productividad del trabajo es la disminución del trabajo concreto por unidad del producto dado. De este modo, en virtud de la naturaleza doble del trabajo, disminuye la proporción del trabajo abstracto, homogéneo e igualado, necesario para la rama dada. Esta proporción disminuye debido a la disminución del valor de la unidad de mercancía, que se provoca por la disminución de la medida del trabajo abstracto, materializado en una unidad de mercancía. El valor no depende del trabajo invertido en la *rama dada.* Por el contrario, ese mismo trabajo se determina a través del valor. Así pues, la ley del valor es la ley del equilibrio que se restablece al producirse cambios locales, sectoriales de la productividad del trabajo.

En el siglo XIX era típico el ascenso de la productividad del trabajo en una rama dada sobre el fondo del nivel general que no ascendía. El análisis del mecanismo que restablece el equilibrio en este caso parte del modelo del nivel general cuasiestacionario de la productividad del trabajo, en contraste con el ascenso que se opera en la rama en cuestión. Este es precisamente el modelo cuasiestacionario de producción. Adelantándonos, digamos que este modelo requiere

modificaciones ya en el período de la electrificación. Con tanta mayor razón en el siglo atómico.

La economía mercantil capitalista se caracteriza por falta de regulación directa. El trabajo concreto, el trabajo en su forma natural, no constituye de por sí el objeto de distribución social y deviene trabajo social, perdiendo en el proceso de intercambio, como trabajo abstracto, su forma concreta. El elemento de mercado excluye el cálculo previo consciente, dejándolo a las empresas y vinculándolas entre sí con leyes estadísticas ciegas. En la producción, donde aún no hay mercado ni leyes espontáneas, que hacen caso omiso de los destinos individuales, lo mismo que las leyes termodinámicas hacen caso omiso de los movimientos de las moléculas individuales, el trabajo del productor entra, en su forma natural, en el trabajo social, siendo objeto de regulación directa. Tal es, dice Marx, el trabajo en la hacienda feudal y la comunidad patriarcal.

En la producción patriarcal y feudal, la reglamentación directa de los trabajos individuales significa que el trabajo racional concreto es social en virtud de su racionalidad. El efecto del trabajo se conoce de antemano y es su finalidad. Esta finalidad, este efecto conocido de antemano vinculan precisamente el trabajo del hombre con el de los otros hombres. Aquí no se observa la indeterminación necesaria del efecto, que dimana de la socialización mediata del trabajo en forma materializada, no se observa la indeterminación necesaria del aspecto racional del trabajo. "El trabajo determinado del individuo, en su forma natural, la particularidad, y no la universalidad, del trabajo crean aquí la conexión social"[8].

En la comunidad patriarcal y la hacienda feudal, el productor conocía de antemano a dónde iría a parar el producto de su trabajo, cuál era su destino, cómo estaba vinculado su trabajo por este efecto conocido de antemano con el trabajo de otros hombres; todo eso se reglamentaba por indicaciones y, principalmente, por tradición. El carácter tradi-

[8] Ibid., t. 13, págs. 19-20.

cional del trabajo, la repetición durante muchos años de la sucesión y las correlaciones cuantitativas y la estructura de producción que casi no se modifica en vida de una generación eran, en la comunidad y la hacienda, una sustancial condición de la coincidencia de la división social del trabajo con su división técnica. La reglamentación de la producción del tipo de "tantas cabezas de ganado deben ser llevadas en tal fecha, el ordeño debe terminar a la hora tal, la preparación de la mantequilla comenzará al mediodía, los caballos para su transporte llegarán después de la comida, etc.", que no dejaba lugar a ninguna indeterminación para la materialización del nexo entre las distintas operaciones; la reglamentación categórica y santificada por la tradición y la autoridad se acercaba de lleno a la imagen de un sistema rígido con una conexión precisa y clara entre sus elementos. El trabajo estaba enajenado no por la ley estadística que deja de lado los destinos individuales, sino por la tradición autoritaria que preveía todos los detalles y excluía la libre elección.

Esta producción tradicional y por eso, precisamente, tan concluyente por su estructura, con un nexo claro y directo entre los productores, fue remplazada por la producción mercantil con un efecto indeterminado por principio de cada acto laboral aislado que se ligaba a otros a través del intercambio. Esta indeterminación se conservaba en el mundo de los destinos individuales, eliminándose en cierta medida en la producción en conjunto por la ley de los grandes números, el olvido estadístico de planes, intenciones, voluntad y destino de los participantes dispersos de la producción social.

La producción mercantil capitalista se sustituye por la producción socialista planificada. En esta última desaparece el rasgo específico de la economía mercantil capitalista: la indeterminación del efecto inmediato que vincula un elemento del trabajo desmembrado con otros. ¿Significa esto que desaparezca toda indeterminación de tal efecto, volviendo la sociedad a la conexión rígida y precisa de los actos laborales?

No, semejante conexión precisa, rígida y carente de toda indeterminación se basaba en el carácter tradicional de la producción, en el ritmo insignificante de los cambios técnicos y estructurales en la producción. Tal conexión y, respectivamente, la determinación de lo más exacta del efecto de cada acto de producción se garantizan únicamente por la tradición. En ello nos detendremos con mayor detalle.

La reglamentación de la producción puede ser directa y, al mismo tiempo, absolutamente rígida, si los actos laborales están vinculados entre sí como eslabones del proceso tecnológico *establecido*. ¿Se puede construir con arreglo a tal esquema toda la producción social? ¿Se puede convertir las empresas, de las que se compone la producción, en un gigantesco mecanismo cuyas partes estén ligadas por un resultado exacto de cada proceso, que es punto de partida del siguiente?

Esto puede conseguirse tan sólo con una condición. Se necesita que la producción no incluya más que los procesos establecidos, que el resultado de cada uno de ellos pueda determinarse de antemano con exactitud y que ningún proceso sea experimental, del cual no se conozca de antemano el resultado. Las únicas investigaciones que deben acompañar semejante producción son las mediciones de control de temperaturas, tensiones, presiones, composición de materia prima, calidad de la producción, o sea, investigaciones que no garantizan un cambio de la tecnología sino su inmutabilidad. Es evidente que semejante producción sería invariable por su estructura. Podría crecer únicamente a expensas del incremento del potencial y del número de talleres y empresas, conservándose las mismas proporciones.

En la comunidad patriarcal y la hacienda feudal, la producción era prototipo primitivo (con un cálculo de tiempo tipo de "mientras hay rocío" y con una determinación de los parámetros de la producción tipo de "más arriba de la cintura", etc.) de tal producción estacionaria. El prototipo real de un cuadro ficticio. Porque después de la revolución industrial puede existir realmente tan sólo la producción que

deviene ciencias naturales aplicadas, que asegura la elevación de la productividad del trabajo, aunque sea esporádica, aunque sea local y que no puede ser estacionaria por su tecnología y estructura.

Se puede demostrar que en semejante producción es inevitable la indeterminación de los resultados de algunos eslabones del trabajo social: la indeterminación de los resultados tecnológicos y de los cambios estructurales de la producción.

Para una economía que cambia sin cesar su estructura, para una economía que se desarrolla no sólo cuantitativa sino también estructuralmente son esenciales, como se ha dicho ya, dos exponentes. Uno de ellos es el nivel de la productividad del trabajo alcanzado por la producción P (a este nivel corresponde cierta estructura de producción); el segundo es el cambio de este nivel, su velocidad, su derivada en el tiempo P' (le corresponde también cierta estructura, ciertas proporciones del trabajo social distribuido).

Una diferencia muy sustancial consiste en que el resultado de la producción son no sólo energía, metal, máquinas-herramienta, tejidos, etc., sino también *información.* La información sobre nuevos procesos tecnológicos, sobre nuevos recursos energéticos, sobre nuevas aleaciones, sobre nuevos diseños de máquinas-herramienta, sobre nuevas clases de tejido y, en general, sobre nuevos *parámetros.* El obtener tal información significa cierto experimento, o sea, una acción cuyo resultado es probable pero desconocido con certidumbre de antemano. La producción comprende ahora el componente experimental. No se trata sólo de las oficinas de diseño y los laboratorios, del experimento físico-técnico o químico-tecnológico (que da razón de cuál será el rendimiento en caso de emplear una energética distinta de combustible, cuáles serán la solidez, la electroconductibilidad y otras propiedades de la aleación si se agrega un aditivo nuevo, etc.), sino también del experimento técnico-económico (cuál será el valor de las operaciones empleándose la nueva tecnología) y del experimento propiamente económi-

co (información sobre los cambios estructurales vinculados con la nueva tecnología, sobre los nuevos suministradores y consumidores posibles, sobre la capacidad del mercado), e información de conjunto sobre el costo de producción y el efecto económico). El experimento económico no se realiza en la empresa dada. Los consumidores (su número exacto no siempre se conoce de antemano) determinan qué les proporciona la nueva tecnología que disminuye el costo del artículo que necesitan, sustituye este artículo por otro distinto o modifica sus propiedades, dimensiones y métodos de su empleo.

Aquí interviene otro aspecto. En una producción que, además de atenerse al recetario tradicional, consolidado por el prestigio, y observar los parámetros indicados por la tradición, *busca* nuevo recetario y nuevos parámetros, en semejante producción, los *estímulos* deben incluir la valoración real –que funcione automáticamente– de los cambios en su forma cuantitativa.

Las formas embrionarias del valor y de las relaciones mercantiles estaban ligadas con la dinámica económica en el sentido de que el desarrollo de la división social del trabajo rebasaba el marco de la comunidad patriarcal aislada y de la hacienda feudal y, respectivamente, el marco de los nexos tradicionales, acostumbrados y conocidos, que se regulaban por la tradición misma y el poder patriarcal o feudal que se apoyaba en ella. Pero esta forma de división social del trabajo sigue siendo bastante tradicional. Con la dinámica, con la indeterminación de los nexos de producción y con la necesidad de regular el valor de la producción nos encontramos en la economía mercantil desarrollada.

En la producción mercantil desarrollada, la dinámica económica, que altera las relaciones económicas tradicionales, está condicionada por la transformación de la industria en ciencias naturales aplicadas, por el efecto económico de la ciencia. Precisamente de la ciencia. El progreso técnico, mientras se apoya en fuentes puramente empíricas, no rompe con la tradición, sino apenas la transforma lentamente,

y no incluye nuevos procedimientos y conexiones tecnológicos que sean inesperados por principio y homologados sólo *post factum*. La revolución técnica del siglo XVIII condujo a la expansión de las máquinas, que perdieron la conexión constructiva con la herramienta artesanal. Desaparecieron los martillos gigantescos, que eran una repetición aumentada de los pequeños martillos tradicionales. Los nuevos diseños de las máquinas se deducían de las fórmulas de la mecánica teórica. El progreso técnico, las búsquedas de nuevas formas racionales y de respuestas a "¿cómo proceder para...?" se hicieron inseparables de las comprobaciones de las ciencias naturales, de las respuestas a la pregunta "¿a qué se debe que...?" Pero tales comprobaciones siempre son más amplias que las tareas prácticas que las provocan. Por eso, el progreso técnico, consistente en la aplicación de la ciencia, posee una particularidad muy importante para las categorías económicas: los nuevos diseños y esquemas pasan de un campo a otro. Este efecto se estudiará más abajo con más detalles.

Hasta mediados del siglo XX, las investigaciones científicas como fuerza motriz del progreso técnico no eran objeto de un análisis económico sistemático. Se las consideraba algo así como el aire que la gente aspira sin pensar en su valor[9]. El desarrollo de la ciencia no se vinculaba con las inversiones en ella; estas inversiones eran inconmensurables con las que se hacían en las ramas fundamentales de la producción y no formaban parte, por eso, de la estructura de la economía nacional. Como veremos, la *economía de la ciencia* pudo aparecer sólo a mediados de nuestro siglo.

No obstante, la ciencia era la fuerza motriz del progreso técnico, y sin referirse a su desarrollo y aplicación no se puede explicar la evolución de las categorías económicas. Intentaremos demostrar que la modificación de la ley del valor, ante todo, el precio de producción como regulador de

[9] Véase F. Russo. *La création scientifique et téchnique, base et moteur du progrès économique. "Encyclopédie française"*, t. IX, p. 9.

la estructura de la economía nacional estuvo vinculada con la transformación de la estructura, con su carácter dinámico y, en última instancia, con la transformación de la industria en ciencias naturales aplicadas.

Si la base general de la ley del valor es la necesidad de la distribución proporcional del trabajo, la correspondiente fundamentación del papel regulador del precio de producción parte de la distribución proporcional de los fondos. A partir de la revolución industrial se opera un crecimiento relativamente rápido, pero desigual de los fondos. La relación entre el capital constante y el variable aumenta a ritmo distinto en ramas distintas. La distribución de fondos entre las ramas debe corresponder a las diferencias en la composición orgánica de capital, a la relación entre el capital constante y el variable en cada rama. Es una necesidad muy general de cada producción con distinta composición orgánica en las distintas ramas.

La formación de diferencias en la composición orgánica del capital provoca sus migraciones, que se distinguen de las migraciones del trabajo en la producción mercantil simple en muchos aspectos, de los cuales necesitamos mencionar lo siguiente.

Tomemos la producción mercantil simple, estacionaria por la envergadura y estructura, en el momento de equilibrio: los precios corresponden a los valores, la oferta corresponde en todas partes a la demanda, y están ausentes las migraciones del trabajo. Semejante equilibrio se altera inevitablemente por fluctuaciones netamente estadísticas, por desviaciones puramente casuales. Casuales en el sentido de que no se supeditan a las regularidades *macroscópicas.* Estas desviaciones se suprimen por las desviaciones que provocan ellas mismas de los precios respecto de los valores y por las migraciones respectivas del trabajo. Este es el mecanismo de conservación de la distribución estática del trabajo en la producción mercantil simple. Explica cómo *se conserva* el equilibrio entre la producción y el consumo, cuando no existe una ligazón inmediata entre los productores

de mercancías, cómo se conserva este equilibrio en el juego caótico de las voluntades individuales.

El problema del origen y el cambio de la estructura determinada de antemano no es esencial en este caso: la producción mercantil simple, lo mismo que el consumo, modifica su estructura con lentitud, conservándose la estructura estática en vida de una generación.

Tomemos ahora las desviaciones de los precios respecto de los valores y las migraciones del capital producidas por las diferencias en la composición orgánica del capital o, pasando a definiciones más generales, por las diferencias en la proporción de bienes de equipo por cada trabajador en la empresa. Estas desviaciones y migraciones no son ya fluctuaciones estadísticas casuales, sino que tienen un marcado carácter lógicamente dinámico. Aquí, en caso de tales desviaciones "macroscópicas" constantes no existe término medio estadístico en el juego de voluntades individuales. Son esenciales las diferencias en la composición orgánica al pasar de una rama industrial a otra. Estas diferencias son macroscópicamente lógicas. Si usamos analogías termodinámicas (admisibles en cualquier colisión de procesos estadísticos y no estadísticos), las migraciones producidas por las diferencias de la composición orgánica del capital, no hacen recordar los desplazamientos de moléculas por separado, sino los desniveles macroscópicos en continua renovación, que ya no configuran un término medio, sino *su variación*. En la producción mercantil capitalista, el juego de voluntades individuales se suprime con la medida estadística, pero esto no conduce a la paridad de los precios con los valores, sino de los precios con los precios de producción.

Semejante equilibrio tiene indudablemente un fondo común, lo mismo que el equilibrio de la producción mercantil simple. Pero aquí, el equilibrio no puede ser representado ya como puramente estático ¿De qué dependen las diferencias en la composición orgánica o, si se toma el mencionado fondo común, en la proporción de bienes de equipo por cada trabajador? ¿Por qué a mediados del siglo XVIII dicha pro-

porción en la industria textil superó la de otras ramas? ¿Por qué a fines del siglo XVIII y comienzos del XIX se produjo un proceso análogo en la industria metalomecánica, y a fines del siglo XIX en la economía municipal? En todos los casos, esto dependió de la aplicación de la ciencia: a mediados del siglo XVIII, del empleo de la mecánica en la construcción de máquinas de hilar y tejer; a fines del siglo XVIII y comienzos del XIX, del empleo de la termodinámica en la construcción de máquinas de vapor universales, capaces de poner en movimiento los trenes de laminado y las máquinas-herramienta, y a fines del siglo XIX, del empleo de la electrodinámica en la generación y transmisión de energía de las centrales a las instalaciones de alumbrado y transporte. Se podría citar un sinnúmero de ejemplos que ilustren la dependencia de las diferencias en la proporción de bienes de equipo por cada trabajador respecto de la transformación de la producción en ciencias naturales aplicadas. Estos ejemplos mostrarían, al mismo tiempo, la ligazón entre las categorías del valor (las complicaciones y modificaciones eventuales encerradas en ellas, o sea, la "multitud de definiciones") y la dinámica de la producción, el paso de los métodos tradicionales a los métodos científicamente argumentados y, *por eso,* transformables.

Se podría mostrar incluso el nexo entre las modificaciones del valor y la influencia inmediata que ejercen sobre la producción los principios de la ciencia cada vez más generales y fundamentales. La revolución industrial del siglo XVIII estuvo vinculada, en última instancia, con la mecánica de Newton. Pero no hubo una ligazón inmediata. El motor directo de la revolución industrial no fue la génesis y el desarrollo de la mecánica teórica clásica, sino la génesis y el desarrollo de la mecánica aplicada. Lo que diferenciaba a la mecánica aplicada de los siglos XVII y XVIII era la limitación relativa de su uso: las conclusiones aplicadas eran concretas y no podían pasar a otros campos sin experimentar una larga modificación. De ahí la relativa estabilidad de las diferencias en la composición orgánica del capital que

surgían en el curso de la revolución industrial. La ciencia aplicada proporcionaba resultados prácticos que poseían considerable fricción al pasar a otros campos. Semejantes diferencias relativamente estables en la composición orgánica del capital son las que crean, precisamente, la diferencia entre el valor y el precio de producción.

El efecto económico de la electrodinámica clásica y toda la física del siglo XIX fue distinto. Tomemos el ejemplo de un descubrimiento tan fundamental como la inducción electromagnética. El cambio del campo magnético da origen al campo eléctrico y la corriente eléctrica. El campo eléctrico alterno da origen al campo magnético. Este descubrimiento, sintetizado en la teoría de Maxwell, constituyó la base del nuevo cuadro del mundo, de la concepción universal del campo y de la nueva relación entre el "ser" democritiano (átomos) y el "no ser" democritiano (espacio). A la vez, la inducción electromagnética fue la base inmediata de los diseños de máquinas prácticamente aplicables. Distintas por el carácter del empleo, pero únicas por su esencia física. En la década de los años treinta, Faraday construyó ya los prototipos del generador, el motor eléctrico y el transformador, que dieron un impulso, primero, a la génesis de las centrales eléctricas, segundo, a la génesis de los primeros receptores de corriente, al nuevo mecanismo de fuerza de la industria y, tercero, a las redes de distribución. Así pues, el impulso se extendió con rapidez de la energética a todas las ramas que emplean el mando eléctrico. La comunidad de la idea realizable directamente en la producción es proporcional a su movilidad, su fluidez, su capacidad de infiltrarse a través de los tabiques intersectoriales. Y esta capacidad, a su vez, significa la formación de los círculos concéntricos relativamente amplios de las ramas de producción en los cuales la composición orgánica del capital se eleva paralelamente. La hiladora de Arkwright alteró por mucho tiempo la uniformidad del aumento de la composición orgánica del capital, la inducción electromagnética, por el contrario, dio impulso a tal aumento en gran número de ramas, tanto en

la energética como en todas las ramas que comenzaron a instalar motores eléctricos y, respectivamente, mecanizar y, más tarde, automatizar las operaciones de producción. Esto no pudo menos de dejarse sentir en el mecanismo de la regulación de la producción a través del valor.

Ahora veamos el influjo de la ciencia no clásica sobre la composición orgánica del capital, sobre la proporción de bienes de equipo por cada trabajador en las ramas. Mencionemos, a título de ejemplo, la idea de la aplicación de neutrones rápidos en los reactores atómicos. De esa idea se habló ya en el capítulo *El átomo*. Para pasar a los reactores autorregeneradores de neutrones rápidos es necesario acumular suficiente cantidad de plutonio con ayuda de los reactores de neutrones lentos. Así pues, se observa una situación paradójica, pero típica de la ciencia no clásica: el reactor de neutrones lentos prepara su propia amortización moral, que es una finalidad sustancial de su trabajo. Semejantes fondos autoeliminables cambian el cuadro de la proporción de bienes de equipos por cada trabajador. La base del precio de producción es, además del valor de los fondos, el valor de su amortización moral. Esta última es una de las categorías económicas fundamentales de la producción moderna.

El hecho de que la evolución de las categorías económicas dependa del desarrollo de la ciencia no significa el automovimiento de ésta. Su aparato experimental y la suma de los recursos invertidos en la ciencia dependen de la producción material. Con tanta mayor razón dependen de ella el grado y el ritmo de materialización productiva de los resultados de la ciencia. Pero la lógica interna de la ciencia, el hecho de que los procesos electrodinámicos pudieron descubrirse únicamente después de la obtención de la corriente eléctrica, de que la teoría especial de la relatividad pudo formularse sólo después de la teoría electromagnética de la luz, etc., no pueden relegarse al olvido. El desarrollo de la ciencia no es ni un proceso en automovimiento ni un reflejo pasivo de la producción material.

Volvámonos a la proporción de bienes de equipos por cada trabajador como caracterización de la producción-en-general. En toda producción (excepto la producción mercantil simple más primitiva, con fondos mínimos) surgen diferencias entre la relación del trabajo vivo con los fondos en una rama y la relación análoga en otra rama. A las diferencias en la proporción de bienes de equipos por cada trabajador puede aplicarse la reducción *mutatis mutandis* en la producción-en-general. Al tratarse del valor, semejante reducción consistía en hacer constar las diferencias entre las cantidades de trabajo destinadas para distintas ramas y en la constante necesidad elemental de que estas diferencias cuantitativas correspondiesen a la estructura de las necesidades. Ahora se trata de las diferencias objetivas en la proporción de bienes de equipos por cada trabajador y de la necesidad de redistribuir los fondos tomando en consideración estas diferencias. Y lo mismo que en el caso del valor, la reducción a la producción-en-general no explica de por sí las formas históricas del valor, la reducción análoga en el caso del precio de producción no explica las formas históricas de este último. Y lo mismo que en el caso del valor, el tránsito a la categoría abstracta del precio de producción exige otra operación, la operación más importante y propiamente científica, del paso de lo abstracto a lo concreto, las búsquedas de "un conjunto rico, con numerosas definiciones y relaciones", las búsquedas de las modificaciones históricas del precio de producción.

Semejantes búsquedas parten del cambio de la fuerza productiva del trabajo. Pero como resultado de ellas llegamos a una dinámica nueva, más alta por su categoría, de la fuerza productiva del trabajo. La dinámica que explica las diferencias en la estructura orgánica de las ramas son los grandes cambios tecnocientíficos que modifican la proporción de bienes de equipos por cada trabajador en la rama dada, sin ejercer influencia, en el plano general, sobre dicha proporción en otras ramas. El índice integral de la proporción de bienes de equipo por cada trabajador es resultado

de la adición de tales acontecimientos dinámicos en las distintas ramas. Es la función lineal de los cambios en las ramas. Resulta una categoría real, puesto que de ella depende la cuota media de ganancia, y la realización efectiva de esta cuota media de la ganancia se opera a consecuencia de la migración del capital a las ramas con una composición orgánica menos alta. Estas migraciones del *capital* son una forma irracional de la migración de fondos. La premisa de tal migración es la conservación mencionada de la composición orgánica menos alta de los fondos en las ramas no afectadas por el cambio tecnocientífico dado que ha conducido a la elevación de la composición orgánica en cierta rama. En otros términos, la cuota media de ganancia está ligada a la función *lineal* del índice integral de la proporción de bienes de equipos por cada trabajador y de sus cambios en las distintas ramas.

Imaginémonos que el cambio tecnocientífico no consiste en el paso de un diseño de máquina (con límites ramales de empleo) a otro o de un método tecnológico a otro, sino en el paso de un esquema físico o químico ideal a otro. En otros términos, que no se ha operado una transformación de la tecnología, sino de los esquemas científicos que no se aplican en una rama sino en numerosas ramas. La ciencia se distingue de su aplicación práctica porque su contenido son comprobaciones objetivas independientes de la aplicación y, por eso, precisamente, aplicables (aplicadas ya o aplicables eventualmente) en una serie de ramas, independientemente de la diferencia entre sus tareas tecnológicas. ¿Cuál será el efecto estructural? ¿Cómo cambiará la estructura de la producción en caso de tal cambio, es decir, en caso del progreso científico en el sentido propio, que influye en varias ramas, quizá, en todas las ramas principales? Pasemos a esta cuestión que es la principal en la economía de la ciencia. Al mismo tiempo, tocaremos la cuestión particular de si produce semejante cambio de un esquema físico o químico migraciones de fondos análogas a las que se observan en el caso de cambios netamente técnicos, al modificarse los dise-

ños de máquinas y los procesos circunscritos a cierta rama concreta.

INFORMACIÓN INTERRAMAL

El valor y su modificación –el precio de producción– garantizan el equilibrio de la economía, la correspondencia entre la estructura establecida del consumo y la distribución del trabajo (el valor) y de los fondos (el precio de producción). Trátase de cierta aproximación estática. En la distribución del trabajo se operan incesantes cambios, y el valor la estabiliza, acerca dicha distribución a la correspondencia con la estructura del consumo. Se dan cambios macroscópicos en la proporción de bienes de equipo por cada trabajador en las ramas: la cuota media de ganancia y el precio de producción aproximan la distribución de los fondos a un equilibrio relativo, que corresponde a una composición orgánica del capital determinada de antemano en las distintas ramas.

¿Puede llamarse *óptima* esta estructura equilibrada del trabajo y de los fondos? ¿Puede considerarse un pronóstico *optimista*, siguiendo la afinidad de los términos, la seguridad de que la estructura equilibrada se realiza?

En la primera parte del presente libro, el término "optimista" se aplicaba a la comprobación de los procesos espontáneos de la naturaleza. Pero o bien se entrecomillaba o bien se le agregaba el prefijo "cuasi"; se trataba de procesos cuasioptimistas que aumentan la entropía negativa y se oponen a la muerte térmica. Mas cuando se trata de procesos sociales en los que participan los hombres con sus fines conscientes y su voluntad, el empleo del término "optimismo", incluso entrecomillado, para aquilatar procesos espontáneos, es un problema complicado. En este caso, el optimismo no puede ser ya una caracterización convencional, no puede emplearse en el sentido figurado difundido.

En este caso, el optimismo tiene un equivalente directo y preciso: la correspondencia entre el pronóstico y el fin consciente. Para el liberalismo económico clásico, el valor y el precio de producción podían constituir, sin reservas, la base del pronóstico optimista. El fin consistía en alcanzar el equilibrio de la producción social. Se suponía que las leyes inmanentes de la vida económica del mejor modo realizan este objetivo siendo mínima la intervención del Estado y máxima la libertad del comercio, renunciando a los derechos de aduana, etc. Se hacía caso omiso del hecho de que el equilibrio comienza después de las crisis destructoras. El optimismo de los fisiócratas y de Adam Smith era no tanto una comprobación optimista y un pronóstico optimista como una ilusión optimista.

Además, aquel optimismo era estático. Y no se puede exigir más de las leyes que determinan la distribución del trabajo destinado para satisfacer las necesidades existentes, ni de los fondos que permiten satisfacerlas. ¿Existen leye que incluyan en la distribución general el trabajo y lo fondos y que garanticen el *cambio* de la estructura de consumo y de todos los índices integrales de la producción?

Tal trabajo, si figura en la distribución general (en este sentido es homogéneo), crea el *valor dinámico*. Como trabajo concreto, no tiene por fin las cosas y servicios consumibles, sino la información sobre las nuevas cosas y servicios que no han sido creados aún y que se distinguen de los creados. El contenido de semejante trabajo no consiste en alcanzar el fin, sino en cambiarlo. Luego siguen la velocidad y la aceleración del cambio.

La ciencia siempre proporciona a la producción no sólo un medio para alcanzar los fines formulados ya, sino también un impulso para cambiarlos. Pues la ciencia, como se ha dicho ya, contesta no sólo a la pregunta formulada, sino también a la no formulada. En estas respuestas se contiene no sólo la información de "sé cómo" (know how) y "sé dónde" (know where), sino también la información dinámica

de "sé cómo cambiar" y, además, cambiar no sólo en el campo dado, sino también en otros.

El hecho de que los descubrimientos científicos influyen no sólo en la rama de producción que necesite un nuevo esquema físico o químico está vinculado con la naturaleza misma de la ciencia. Imaginémonos que en una rama el progreso técnico entró en lo que puede llamarse "zona asintótica": los mejoramientos puramente constructivos o tecnológicos del esquema físico no conducen al cambio sustancial de los índices tecnoeconómicos, que se acercan asintóticamente a un determinado nivel constante. En este caso se intenta pasar a un esquema físico nuevo. Para eso hay que invertir grandes sumas en búsquedas que, tal vez, no han de aportar resultados; hay que cargar, quizá, con estos gastos complementarios a la producción actual o, por el contrario, disminuir los precios de la nueva producción, vinculada con el esquema físico nuevo por principio. No tardaremos en pasar a estudiar semejantes operaciones, que tienen cierto sentido también en la producción-en-general. Ahora aclaremos con ejemplo el aspecto más sustancial del asunto. Recordemos la prehistoria del laser, de la cual se trató en la segunda parte del libro, en el capítulo *Electrónica cuántica*. Como se dijo en aquel ensayo, durante largo tiempo, los mejoramientos puramente constructivos de los aparatos de radio no surtieron gran efecto, no permitieron obtener intervalos muy estrechos de frecuencia para que las emisoras no se estorbasen unas a otras al trabajar simultáneamente. Las búsquedas de nuevos métodos de generación de las oscilaciones coherentes monocromáticas proporcionaron un nuevo esquema físico, nuevo en el sentido de que en él se utilizan procesos anteriormente desconocidos de transición de electrones a otros niveles en un átomo radiante. Se trata de la radiación inducida que se desprende, como demostró Einstein en otros tiempos, del modelo cuántico de átomo, pero cuya naturaleza no era aún conocida a fondo. En la década del cincuenta apareció tal esquema detallado de la radiación inducida, creándose el laser. Este último cambió

la situación no sólo, y hasta no tanto, en la radiotécnica como en la energética y en la tecnología de todas las ramas principales. El efecto del laser se revela por el pronóstico científico, tecnocientífico y económico que se extiende a toda la producción en conjunto. Cualquier cálculo económico que pase por alto semejante *efecto integral* del descubrimiento sería erróneo.

¿Por qué produce un efecto integral el paso a un esquema *físico* nuevo (a diferencia del paso a un esquema *técnico* nuevo que materializa a un inmutable esquema físico viejo)? ¿Por qué consideramos tal efecto como expresión de las particularidades fundamentales de la ciencia?

Como se ha dicho ya, las respuestas de la ciencia siempre son más amplias que las preguntas que se le hacen. Tanto más amplias cuanto mayor es la "perfección interna" de la respuesta, cuanto más fundamentales son los principios generales con que está vinculada y de los que dimana lógica mente, con el mínimo de suposiciones particulares comple mentarias. Podemos prever con una u otra probabilidad e. efecto de tal respuesta en otras ramas de producción, además de la rama donde haya sido hecha la pregunta. Es una peculiar migración de la información del campo para el cual se ha formulado la pregunta a otro campo. Esta migración significa la sintetización de la información particular, y, a la vez, el paso de la información *post factum*, basada en los datos experimentales obtenidos ya, a la información de pronóstico, a la información *ante factum*.

Esta última comprende la información económica sobre la influencia probable del nuevo esquema físico en la estructura de la producción. Ilustremos semejante migración de la información con un ejemplo histórico: el Plan de Electrificación de Rusia (GOELRO) y la planificación subsiguiente de la electrificación.

La idea de partida del plan fue la unificación de las centrales eléctricas y los centros de consumo de energía con una red única de transmisiones de alta tensión. Se trataba de la plasmación técnica de la electrodinámica clásica, de la

posibilidad de obtener la corriente en generadores, aumentar su tensión con ayuda de transformadores, transmitir la energía a grandes distancias y poner en movimiento motores eléctricos en los puntos de consumo. Esta idea física de partida, al adquirir contornos técnicamente tangibles de un sistema único de centrales, transmisiones, subestaciones y redes de distribución, provocó una resonancia tecnológica: la transformación de la tecnología, el amplio desarrollo de la electrólisis y la aplicación de la tecnología de gran consumo de electricidad, en particular, de la electrometalurgia. Además, la reconstrucción energética condujo al amplio empleo de la electropropulsión, al empalme del árbol del mecanismo de trabajo con el del motor eléctrico y la automatización basada en motores eléctricos.

Esta resonancia de la reconstrucción energética consistió en pronósticos y comprobación de una u otra probabilidad de cambios en la tecnología y el mecanismo de fuerza. Fue precisamente la migración de la información: esta última adquiría un contenido nuevo, transformándose de información sobre el sistema único de suministro de electricidad en información sobre las nuevas aplicaciones posibles o probables de la electricidad.

Para el aspecto económico de esta información eran sustanciales los datos sobre la disminución del costo del kW-hora con la unificación en circuito de las centrales y con el paso al combustible barato y la energía hidráulica.

La disminución del costo del kilovatio-hora elevó la productividad del trabajo en la economía energética y rebajó los gastos de trabajo específico. En la producción con una estructura cuasiestática y con una proporción determinada de antemano del consumo de energía eléctrica, tal rebaja debía provocar la disminución de los gastos de trabajo y la migración del trabajo de la energética a otras ramas. Desde el punto de vista de la nivelación de la cuota de ganancia, desde el punto de vista del precio de la producción, es decir, tomando en consideración la proporción de bienes de equipos por cada trabajador, la disminución del costo de kilo-

vatio-hora significa el aumento de la estructura orgánica de la energética, la migración de fondos a otras ramas y la disminución de las escalas de valor de la energética (conservándose o creciendo las escalas físicas); disminución absoluta en la reproducción simple y relativa en la reproducción ampliada con una estructura estática o cuasiestática. Pero la electrificación iba acompañada del crecimiento de la energética, y no sólo absoluto, sino también relativo. Esto se explica por el flujo de información sobre la posibilidad de nuevos procesos tecnológicos, nuevos diseños, nuevos tipos de materia prima y nuevas condiciones económicas en todas las ramas de producción. Esto se explica, en particular, por la información sobre la posible electrificación de la tecnología industrial. Nos viene a la memoria el hecho, relacionado con el diseño de la hidrocentral del Dniéper, en particular, cómo el proyecto del Complejo de industrias de gran consumo de electricidad respaldaba la variante de una sola presa y la potencia muy grande para aquel entonces de la central. Y al mismo tiempo, cómo la perspectiva del desarrollo de las industrias de gran consumo de electricidad se apoyaba en la baratura de la energía, prevista en el proyecto de una sola presa.

El valor jugaba un papel sustancial. Pero era en sumo grado un índice de cálculo, plasmaba una información *ante factum*, una información de pronóstico. Cuando se confeccionó el plan GOELRO y más tarde, los cambios del valor actuaban incluso en el caso de ser virtuales. Cuando la perspectiva del empleo de corriente de alta tensión rebajó el valor de cálculo de la transmisión de energía, haciendo posible la utilización de los recursos lejanos de combustible y energía baratos, no se esperó hasta que fuesen construidas las centrales, las líneas de transmisión y los dispositivos de distribución. Se acometía la construcción de empresas de gran consumo de electricidad y el paso a la transmisión eléctrica anticipando los cambios del valor de la energía.

En la producción planificada se parte de la información

previa que existe y se propaga antes de que comiencen las migraciones reales del trabajo y de los fondos. Pero en el plan que prevé cambios radicales de la estructura de producción se debe tomar en consideración los gastos de trabajo para obtener la información que origina tales cambios del trabajo, creador del valor dinámico. Actualmente, estos gastos son confrontables con los principios componentes del balance general del trabajo. Su efecto consiste en la restructuración de este balance, en el paso a una nueva estructura de producción. Forma parte del balance del trabajo el tributo al Dios de que habló Rousseau.

Ahora empezamos a comprender el componente económico de la inquietud con la cual dotara a la humanidad el creador legendario de la ciencia. Esta vez, la tranquilidad ha sido alterada radicalmente. El primer intento consistió en pasar de la técnica tradicional a la técnica un tanto más dinámica. Pero la estructura cuasiestática supo subsistir. Le amenazaban las diferencias de la productividad del trabajo de los productores individuales de mercancías. Pero estas alteraciones provocaban las desviaciones de los precios respecto de los valores, la migración del trabajo y el restablecimiento del equilibrio.

El segundo intento fue más serio. El progreso técnico iba aumentando la composición orgánica del capital en algunas ramas. No eran desviaciones que se reducían a un valor medio, sino desviaciones macroscópicas de valores medios. El equilibrio se restablecía por la migración del trabajo y de los fondos de las ramas de alta estructura orgánica, por la nivelación de la ganancia, acercándola a la cuota media, y por la aproximación de los precios a los precios de producción.

En ambos casos, el mecanismo de restablecimiento del equilibrio cuasiestático se determinaba por el estado en el momento dado; los procesos que acercan la producción al equilibrio son funciones de estado. Conociendo el estado de la producción en el momento dado (incluso no tan exactamente como el ser supremo laplaceano, que conoce las coor-

denadas y velocidades de todas las partículas del Universo), puede determinarse su estado subsiguiente.

Y he aquí el tercer intento enfilado contra la tranquilidad humana. Esta vez de las manos de la divinidad hostil escapa la ciencia no clásica. Esta última influye en la producción en conjunto; el efecto de la ciencia no radica en las alteraciones individuales o sectoriales de la estructura cuasiestática, sino en su total transformación. El voluble Dios de las derivadas no da a los hombres la posibilidad de restaurar el viejo equilibrio. La información que dimana de la estructura y sus alteraciones, el valor clásico y el precio clásico de producción y, en general, la información *sobre lo que existe* no determinan ya el desarrollo ulterior de la producción. Este desarrollo se determina *por lo que vendrá.* Esta última información, la información de pronóstico, parte de un conjunto determinado de descubrimientos científicos y tecnocientíficos previsibles con una u otra probabilidad y de su probable efecto económico.

Ahora nos despedimos del creador legendario de la ciencia. Esta es creada por el hombre mismo y –lo que es típico de nuestros tiempos– en su creación invierte una parte sustancial, confrontable con los gastos principales, de su trabajo. Siendo resultado del trabajo, la información científica y tecnocientífica contiene el trabajo cristalizado en ella, distribuible y, por eso, homogéneo.

Recordemos la distribución de los fondos e intentemos encontrar la variante dinámica del precio de producción. Para la transformación moderna, basada en la ciencia no clásica, de la estructura de producción, para su dinámica en el siglo atómico se necesita una migración de fondos y del trabajo vivo, que no se determine por lo que existe, por lo que se haya obtenido en el momento dado, sino por lo que vendrá, o sea, por la información de pronóstico. En el contexto del siglo atómico no existe un mecanismo automático, que restablezca la estructura cuasiestática. No existe por la simple razón de que tampoco existe la propia estructura cuasiestática. Las migraciones de fondos y del trabajo se

operan en nuestros días en dirección opuesta a la migración de fondos y del trabajo que nivela la ganancia, conduciéndola a la norma media, y los precios, a los precios de producción. La disminución del costo del kilovatio-hora, con el paso a las centrales atómicas, produce un aumento de la proporción de la energética en la estructura de la economía nacional, mayor aún que durante la electrificación sobre la base de los recursos clásicos, porque el flujo de información que corre de la energética a la tecnología, el efecto de resonancia de la energética atómica y la aplicación de los esquemas no clásicos (universales y móviles por su naturaleza) reorganiza la tecnología sobre la base de la electrónica cuántica y otros cambios análogos, desembocando (a pesar de la contratendencia: aumento del efecto tecnológico de cada kilovatio-hora) en un crecimiento del consumo de energía de una serie de industrias. Los contingentes complementarios de fondos y de trabajo para las ramas que inician cambios tecnocientíficos no pueden ser resultado de la nivelación de la ganancia, siendo opuestos a semejante resultado por su dirección.

Veamos tres formas de regulación de la producción: 1) la eliminación de las fluctuaciones individuales estadísticas que alteran el equilibrio cuasiestático (el valor como regulador inmediato); 2) la supresión de las alteraciones macroscópicas sectoriales que se deben al cambio desigual de la estructura orgánica de la producción (el regulador es el precio de producción), y 3) la regulación dinámica. ¿Cuáles son en estos tres casos los resultados de la desviación local del precio respecto del valor?

En el primer caso, la fluctuación casual, que permitía al productor de mercancías autónomo vender durante cierto tiempo su mercancía a un precio por encima de su valor, se suprime en el plano general por la competencia. Designando el precio con P y el valor con V, podemos expresar este proceso con la fórmula: $(P>V) \rightarrow (P=V)$. En el segundo caso, el equilibrio se altera, siendo $P=V$: en las ramas de estructura orgánica relativamente alta, el precio, coincidente con el

valor, conduce al reflujo de fondos y del trabajo hasta que el precio no llege al nivel de precio de producción. Designando este último con PP, obtenemos la fórmula: $(P=V) \rightarrow (P>V;\ P=PP)$. En el tercer caso, en las ramas donde se ha operado el cambio iniciador, la estructura orgánica puede elevarse, pero la estructura de la producción, correspondiente a las resonancias de este cambio (el mismo ejemplo de la resonancia tecnológica de la energética atómica) puede modificarse de manera que los fondos y el trabajo vayan a migrar al campo iniciador, a pesar de que el valor y el precio de producción regulen la producción en dirección inversa. No se debe pensar que tropezamos aquí con una alteración particular de la regularidad general. No, aquí se expresa la regularidad fundamental de la producción, que utiliza la ciencia no clásica, realizando no sólo nuevas y nuevas materializaciones ingenieriles del mismo esquema ideal, sino también nuevos y nuevos esquemas físicos y químicos ideales. La naturaleza económica de los fondos complementarios que recibe la rama iniciadora es evidente. Corresponde a la redistribución del trabajo (distribuible, homogéneo, creador del valor), a la separación de la cantidad de trabajo necesaria para producir la información que pasa a otras ramas. Los fondos complementarios son el valor dinámico. Pero dichos fondos (a diferencia de la migración que nivela la ganancia en las condiciones de la estructura orgánica diferente de las ramas) van a parar en la rama dada no sólo mediante la elevación de los precios. Pueden estar vinculados con una larga disminución de los precios ($P<PP$), que provoca la ampliación del mercado; pueden ser resultado de subsidios especiales, y sólo como caso particular, resultado de la elevación de los precios ($P>PP$).

Una forma irracional y antagónica del valor dinámico es el *dumping* ($P<PP$), los precios monopólicos y oligopólicos ($P>PP$) y distintas formas de subvención de los monopolios por el Estado. De la misma manera, una forma irracional del precio de producción son las migraciones de capital durante las crisis, que vienen acompañadas de la destrucción

de las fuerzas productivas, y una forma irracional del valor es la anarquía de la producción. En todos estos casos, la tarea del investigador radica no sólo en revelar las definiciones de la producción-en-general, sino también en deducir del desarrollo de las fuerzas productivas la ineludible supresión de estas formas irracionales y el paso a formas racionales.

El valor dinámico significa que en la estructura de los esfuerzos laborales de la sociedad figura el trabajo cuya finalidad es transformar esta estructura. Es otro componente más de la finalidad integral de la ciencia, de la cual se ha tratado más arriba. La finalidad de la ciencia consiste en transformar el trabajo, la vida del sujeto suyo, transformar su contenido, acercar el trabajo a la solución creadora de problemas cada vez más profundos y generales, transformar el objeto del trabajo y racionalizar el medio ecológico y los recursos naturales de producción. Ahora vemos que se transforma, además del sujeto, el contenido y el objeto del trabajo, también su *estructura.* Todas estas transformaciones hacen que el trabajo mismo sea más transformador y dinámico, que cambie el mundo. La transformación de la estructura del trabajo radica en que éste pasa a formar parte de los principales componentes de la estructura, creando la información reconstructora, base de la influencia de las investigaciones fundamentales sobre la producción, influencia que rebasa los marcos interramales.

PRONÓSTICOS DEL RACIOCINIO Y PRONÓSTICOS DE LA RAZÓN

En la primera parte del presente libro tratamos ya la delimitación muy antigua entre el raciocinio y la razón: el raciocinio concibe en el mundo la regularidad, el orden, mientras que la razón es capaz de ver y prever la necesidad de pasar a un nuevo orden. Este paso es la función de la razón, inseparable de la función del raciocinio: para pasar

a un nuevo orden o nueva ley hay que tener una idea de la ley, la regularidad, la repetición, la identidad y la simetría, o de lo que Hegel calificara de aspecto "tranquilo" del conocimiento. En otros términos, se necesitan las funciones del raciocinio.

Semejante idea de la razón y el raciocinio podía ser formulada después de la filosofía clásica alemana, después de Hegel y después de que la ciencia clásica hubo demostrado meridianamente las transiciones de unas leyes, de unos conjuntos ordenadores del mundo a otras leyes, a otros conjuntos ordenadores. Esta idea adquirió un carácter más concreto, cuando Engels sintetizó las transiciones clásicas en la doctrina de las formas del movimiento y la jerarquía de las mismas.

La ciencia clásica había mostrado ya en el siglo XVII cómo pasaba la *razón* de un ordenamiento del mundo producto del *raciocinio* a otro ordenamiento. En ello consistía precisamente la génesis de la ciencia clásica. En la primera mitad del siglo XVII, en el *Diálogo* de Galileo y, más tarde, en la teoría de Descartes, el mundo fue ordenado en un esquema de movimientos por inercia; los movimientos regulares, o sea una infinidad de velocidades instantáneas idénticas, formaron la *ratio* del mundo. Posteriormente, en los *Coloquios* de Galileo y, más aún, en los *Principios* de Newton, la razón de la ciencia centró la atención de ésta en las diferencias de velocidades, en las aceleraciones, deviniendo esquema ordenador del Universo infinidad de velocidades no idénticas; el esquema del mundo, su *ratio*, se formaba de movimientos acelerados. Mas ello constituyó el paso a un nuevo esquema "tranquilo", a una identidad nueva. En el cuadro del mundo esbozado en los *Coloquios* de Galileo y los *Principios* de Newton, la *ratio* del Universo se formaba de *movimientos uniformemente acelerados*. La armonía del Universo en la doctrina de Aristóteles correspondía a la inmutabilidad de las *posiciones* de los cuerpos que ocupan sus "lugares naturales". En el *Diálogo* y en la concepción de la inercia, esta armonía correspondía a la identidad, a la inmu-

tabilidad de las *velocidades,* las primeras derivadas temporales de las posiciones. En los *Coloquios* y los *Principios,* a la identidad, a la inmutabilidad de las *aceleraciones,* las segundas derivadas de las posiciones. Estas identidades las construye el raciocinio. La razón obliga a pasar de una identidad de raciocinio a otra.

Adelantándonos un tanto, anotemos que en los pronósticos económicos advertimos algo análogo: el raciocinio construye series de características idénticas, inmutables; la razón pasa a series de características más dinámicas, a las derivadas en el tiempo de orden cada vez más alto, de los niveles a las velocidades, y de éstas a las aceleraciones y, probablemente, más lejos aún.

Volviendo a los problemas del valor y el precio de producción, nos persuadimos de que la ley del valor, como toda ley, es una obra del raciocinio (más bien, de la razón que en este caso no rebasa el marco del pensamiento raciocinador). En este sentido, la idea del precio de producción como regulador del equilibrio también es una idea del raciocinio. La función de la razón que rebasa el marco del pensamiento raciocinador, consiste en *pasar* del concepto de valor al concepto de precio de producción.

En el siglo XIX, la razón no se limitaba ya a pasar a las series ordenadas de derivadas de coordenadas de los cuerpos, más altas por su rango, englobando, además del desplazamiento mecánico, otras formas de movimiento. Aquí es específico en cada caso tanto el carácter mismo de la ley que tiene supeditados los fenómenos como el carácter de esta supeditación. Las moléculas por separado se subordinan con docilidad absoluta a las leyes de la mecánica que gobiernan sus desplazamientos. Su conducta corresponde exactamente a las leyes. Por el contrario, la conducta de los grandes conjuntos de moléculas se subordina a sus leyes termodinámicas únicamente en el sentido de probabilidad de la conducta prescrita; esta probabilidad es grande mientras sean lo suficientemente grandes los conjuntos de moléculas; si estos conjuntos disminuyen, las prescripciones de la ter-

modinámica pueden resultar alteradas, y en el caso de una, dos o tres moléculas pierden sentido.

La física no clásica hizo indeterminada la conducta de las micropartículas. Las leyes mismas de la mecánica y las magnitudes gobernadas por ellas –posiciones, velocidades y energías– devienen imprecisas en ciertos límites, con la particularidad de que una alteración de la ley macroscópica puede constituir el comienzo de un nuevo proceso ordenado. Aquí, la razón no se limita ya a trasladar esporádicamente el raciocinio a un peldaño distinto: de las posiciones a las velocidades, de éstas a las aceleraciones, etc. La razón acecha siempre al raciocinio y en todo momento puede convertir las regularidades tranquilas de raciocinio que permiten pasar tranquilamente del fenómeno n al fenómeno $n+1$ y prever el resultado de este último si se conoce el del fenómeno n, en regularidades nuevas, distintas, paradójicas.

Esta relación entre el raciocinio y la razón no es típica sólo de la ciencia no clásica, sino también de los pronósticos científicos, tecnocientíficos y económicos vinculados con ella

Sabemos ya que los cambios radicales ligados con nuevos esquemas físicos y químicos, además de conducir a la aceleración en una rama industrial, originan la aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo en otras ramas. Una aceleración que no puede preverse extrapolando el ritmo anterior. La influencia de una rama en otra da a la primera derecho de llamarse "rectora". Actualmente el "regir" se expresa a veces en el desarrollo nuevo por principio de la rama "regida". En otros términos, se trata de la intervención de la razón, del paso de una línea de raciocinio establecida y previsible con ayuda de la extrapolación a otra línea distinta. Se trata, además, de la intervención ininterrumpida de la razón, de la posibilidad constante de semejante paso.

Este es el efecto de la ciencia no clásica. Es la forma más alta del "regir". Existe una peculiar jerarquía de las ramas de producción según su proximidad a la ciencia no clásica y según el carácter del "regir". Hablando con propiedad, para estas ramas deben proyectarse distintos ritmos. La concep-

ción misma de las ramas rectoras, vinculada con la reinterpretación dinámica general de las categorías económicas, se presentó hace mucho ya. El motivo para adjudicar a la rama dada el título de rectora eran sus particularidades tecnoeconómicas: la producción de esta rama, además de ir a otras ramas en forma de materia prima, combustible, maquinaria, etc., para garantizar los procesos tecnológicos establecidos, da impulso a la reconstrucción y a nuevos procesos tecnológicos en las otras ramas. Este papel pertenecía a la energía eléctrica y, respectivamente, el título de "rama rectora" fue adjudicado a la energética. La estática económica no conoce semejante concepto; para una producción estable, la importancia de las ramas no se determina más que por la magnitud relativa de lo producido.

Actualmente, el concepto de "rama rectora", dinámico por su naturaleza, adquiere, como se ha dicho ya, un sentido algo distinto. El papel rector es distinto por el rango en dependencia de la eficacia y la profundidad de los cambios reconstructivos a que "induce" la rama dada a otras ramas. Además de la producción directa, el mecanismo del "regir" comprende la información no sólo económica (por ejemplo, precio del kilovatio-hora de energía), sino también propiamente técnica (nuevos diseños y métodos tecnológicos) y tecnocientífica (esquemas físicos y químicos nuevos por principio). Así pues, el papel rector de la rama dada, en el sentido de una influencia más dinámica sobre otras ramas, está vinculado con el flujo de información interramal que emite.

Comencemos por las ramas de producción que influyen en el ritmo de desarrollo de otras ramas mediante la información sobre nuevos parámetros económicos de la producción, su envergadura, valor y condiciones de transporte. En el presente, todas las ramas de producción poseen esta función. La nueva información económica llega de cada rama, influyendo sobre el ritmo de fomento de otras ramas. Se formó un sistema del "regir" mutuo no lineal, de influencia recíproca. Pero en el número de estas ramas hay primeras entre iguales, que no sólo aceleran el desarrollo de sus con-

sumidores inmediatos, sino también el de la periferia mucho más extensa. Trátase de la energía en su forma más común, de la generación de energía eléctrica. En esta forma, la energía llega no a un número reducido de consumidores (como en el caso de otros portadores de energía), sino directamente a todas o casi todas las ramas. Por eso, el efecto de la generación de energía eléctrica se diferencia del efecto dinámico de las otras ramas. Estas últimas contribuyen directamente al desarrollo de los consumidores más próximos, luego (con un factor mucho menor) influyen mediatamente en el ritmo del círculo concéntrico siguiente y, por último (con un factor todavía menor), en el ritmo del tercer círculo. Con la particularidad de que el factor del influjo dinámico se extingue muy rápidamente. La electricidad también posee semejante efecto multiescalonado, pero en este caso, el factor se extingue con lentitud; además, la electricidad influye directamente de modo dinámico sobre los consumidores incluso en el caso de que éstos requieran una pequeña cantidad de energía eléctrica para su proceso tecnológico. Trátase de industrias de pequeño consumo de electricidad.

Para el siguiente círculo, el concepto de "rama rectora" tiene un sentido algo distinto, también dinámico; pero este dinamismo es de rango más alto. La rama rectora de este rango más alto del "regir" influye sobre otras ramas no sólo mediante la información económica sobre el cambio del costo de materia prima, equipos, etc. (el "regir" particular) o de energía (el "regir" general), sino también con la información técnica, suministrando nuevos esquemas técnicos, que en otras ramas sirven de fuente de nuevos diseños o nuevas recetas tecnológicas *sobre la base clásica.*

A este círculo de ramas rectoras se refiere, por ejemplo, la fabricación de equipos automáticos. En este caso, la influencia no se reduce ya a la fórmula siguiente: un componente tal y tal del costo de producción en la rama "regida" disminuirá; por consiguiente, es posible la perspectiva de ampliar la capacidad del mercado y de la producción en esta rama. En este caso, la influencia puede acercarse, por ejem-

plo, a la fórmula siguiente: "un brusco cambio del nivel de automatización, suministrándose equipos nuevos, permite pasar a cambios tales y tales en la técnica, realizar tales y tales esquemas nuevos, más perfectos".

El tercer círculo es la producción donde se elaboran nuevos esquemas técnicos *sobre la base no clásica.* Son la energética atómica y la electrónica en la amplia acepción del término, comprendida la fabricación de computadoras y aparatos tipo laser. En esta rama se modifican con rapidez no sólo las soluciones ingenieriles, sino también los esquemas físicos básicos (reactores de neutrones rápidos, aparatos semiconductores, tipos nuevos por principio de lasers). La influencia se ejerce en todas las ramas que encuadran los esquemas nuevos por principio en formas concretas.

El cuarto círculo es la construcción de centros experimentales para las investigaciones básicas. En última instancia, estas investigaciones ejercen sobre la producción la influencia máxima por su rango.

No cuesta trabajo demostrar que los círculos concéntricos mencionados deben tener una velocidad distinta de ampliación. Si la energética, además de asegurar la ampliación de la producción de los consumidores, estimula el paso a una tecnología nueva, de mayor consumo de electricidad, debe crecer más rápidamente que el volumen de la producción de los consumidores. Si una rama no clásica (por ejemplo, la electrónica) reconstruye a la energética misma, debe garantizar no sólo el rápido fomento de ésta, sino también, junto con el ritmo de progreso, la "capacidad" creciente de la energética, debe asegurar la necesidad creciente de nuevos esquemas. La ampliación de las investigaciones básicas no sólo influye en la producción creciente (con la mayor rapidez, en la energética atómica y la electrónica), sino que influye en ella de un modo cada vez más fuerte.

Así pues, la desigualdad del desarrollo de la producción, la distinta velocidad del progreso de varias ramas, deja de ser una fluctuación eliminable mediante la aproximación del precio al valor. Deja de ser también un proceso macroscó-

pico, que engloba a toda una rama, que conduce a la desviación de los precios respecto de los precios de producción y a la nivelación subsiguiente con arreglo a la ganancia media. En la producción dinámica, de la rapidez con que crece el nivel de la productividad del trabajo en la rama dada depende, en varios casos, la rapidez con que se amplía esta última. Esto se explica por el hecho de que de la rama del mayor crecimiento de la productividad del trabajo se envía a otras ramas un flujo de información reconstructora: información tecnoeconómica sobre energía más barata; información técnica sobre nuevos diseños, que en otras ramas se transforma en fuente de aceleración del pensamiento diseñador; información tecnocientífica sobre nuevos esquemas científicos y nuevos ciclos, que merced a su comunidad adquieren la condición de cánones objetivos de la creación técnica. También aquí el valor continúa siendo una magnitud de cálculo, que se tiene en cuenta en los planes, pues incluye el trabajo materializado en esta información, o sea, el *valor dinámico*. Ahora el título de "rama rectora" es transferible, mas por lo común, corresponde a las ramas vinculadas en mayor medida con la ciencia no clásica.

¿Cómo se puede pasar de estas correlaciones, que pueden ser expresadas en el mejor de los casos con desigualdades, a ecuaciones que permiten calcular volúmenes de inversiones, volúmenes de producción y proporciones interramales para los próximos decenios? ¿Se puede obtener para cada variante de las condiciones iniciales pronósticos cuantitativos de la estructura de producción a largo plazo, determinar la dinámica económica de la producción, digamos, hasta el año 2000?

Ante todo, procede subrayar que la ecuación determinante de la dinámica en el pronóstico cuantitativo debe apoyarse en cierta extrapolación, en la presunción de constancia, inmutabilidad y conservación de una magnitud determinada, de existencia de la invariante del cambio en el tiempo. Por supuesto, no se trata de la conservación de los niveles y la estructura y, en medida considerable, ni siquiera de las pri-

meras derivadas: velocidades del cambio de los niveles y la estructura. De lo que queda dicho dimana que la hipótesis de partida es la *aceleración* de los índices económicos, que por ahora puede ser tomado como magnitud constante.

Hasta este momento, el pronóstico no rebasa el marco del raciocinio, partiendo de la regularidad, de una ley que se expresa en una ecuación covariante respecto del cambio temporal. Debemos determinar, además, los coeficientes de velocidad y aceleración para el volumen de las ramas planificadas, para las proporciones interramales, para los índices tecnoeconómicos. ¿Cuáles son los métodos de pronóstico que permitan obtener estos coeficientes?

Por ahora no estudiamos el plan, sino el pronóstico. En otros términos, no introducimos en el análisis la determinación de la *finalidad* que persigue la reorganización, el cambio de la economía. Más tarde, al determinarse cierto pronóstico para cada variante de las condiciones iniciales, ante todo, para cada variante de la estructura más próxima de las inversiones en la economía nacional, la cultura y la ciencia, trazándose la "línea universal" de la economía, la tarea se reducirá a confrontar estas "líneas universales", a aclarar cuál de ellas se aproxima en mayor medida a la línea óptima, a la línea que corresponde a la *finalidad* planteada ante la reforma de la economía. Con eso se determinará para el pronóstico el grado de aproximación real a la finalidad, la medida del optimismo que caracteriza este pronóstico. Por lo demás, de todo lo ligado con la confrontación de las variantes de pronóstico se tratará más adelante. Ahora hay que determinar los criterios de elección de los métodos del pronóstico.

En la etapa dada, mientras no se trata del plan ni de la *confrontación* de los pronósticos, tal criterio es el criterio de la determinación objetiva de la dinámica pronosticada, de su subordinación a las regularidades objetivas. Esta es, en general, la relación entre la actividad racional y las leyes objetivas. La objetividad de estas leyes permite, eligiendo en correspondencia con la finalidad las condiciones iniciales,

imprimir a la actividad racional un carácter real y objetivo, planificar sus resultados y contar con que la finalidad se alcance, lo cual es precisamente la definición del optimismo.

El paso del pronóstico al plan se opera confrontando las integrales de la velocidad y de la aceleración de la productividad del trabajo durante el plazo pronosticado. La función de estas variables (y de la propia productividad del trabajo) –el índice económico fundamental– es el equivalente cuantitativo de la finalidad integral de la ciencia: transformar el trabajo, su sujeto y contenido, así como las condiciones naturales, a cuyo cambio está destinado. La alta productividad del trabajo garantiza la posibilidad de elevar el consumo, mejorar considerablemente las condiciones domésticas y aumentar la duración media de la vida, o sea, está vinculada inmediatamente con el destino del sujeto de trabajo, del hombre mismo. La transformación del contenido de trabajo está ligada a la *velocidad* de la elevación de su productividad: la eficacia de la máquina garantiza en cierta medida el nivel de la productividad del trabajo, pero la velocidad de cambio de este nivel no depende de la eficacia de las máquinas, sino del paso a máquinas más eficaces aún, del ritmo de este paso, del componente reconstructor, creador, del trabajo. La segunda derivada *–aceleración–* se garantiza por la fusión del trabajo con la ciencia, por el hecho de que en la producción cambian no sólo los diseños, sino también los esquemas de principio.

La alta productividad del trabajo *en un momento dado*, lo mismo que sus derivadas, puede alcanzarse mediante la destrucción irracional de recursos irrenovables. Shigetsu Tsury, en su informe *En vez del índice "producto nacional bruto"*, dedicado a la disparidad entre las características de valor cuantitativas y el bienestar "físico", cita el ejemplo de la desecación en masa de bahías en casi todo el litoral del Japón para construir empresas en estas áreas nuevas[10]. La

[10] *Actas del V simposio soviético-japonés de científicos economistas*, ed. en ruso. Instituto de Economía Mundial y Relaciones Internacionales de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 1972, pág. 91.

desecación destruye los parques nacionales y la pesca en algunas zonas. A juicio de Tsury, los trabajos de desecación del Mar Interior equivalen a "trasladar la cocina de la casa a un bello jardín sin que se intente asegurar la evacuación de basura". Se podría mencionar numerosos ejemplos semejantes, pues no se trata de excesos, sino de una tendencia muy general y grave. Tsury dice que los valores ecológicos no tienen equivalente cuantitativo. Pero tienen semejante equivalente en su dinámica: la variante vinculada con el rápido agotamiento de los recursos naturales, comprendidos los que la clasificación corriente califica de improductivos, promete, en un pronóstico a plazo suficientemente largo, la disminución del crecimiento del bienestar real y de la velocidad o aceleración del crecimiento de la productividad del trabajo, si estas variables o su función se integran durante un plazo largo.

De ahí se deduce que el empleo racional de los recursos se garantiza por el plan que se apoye en los métodos de variaciones, en la elección de la estructura de producción óptima de partida que proporcione la mayor integral de la productividad del trabajo y de sus derivadas en la "línea universal" pronosticada de la economía.

Volvamos del problema de la planificación y elección de la variante con pronóstico óptimo al pronóstico mismo. ¿Cuáles son los procesos *objetivos* que constituyen la base del pronóstico económico?

La concepción sociológica de Marx concede este papel a las fuerzas productivas de la sociedad. A las fuerzas productivas en una acepción muy amplia, comprendida la ciencia y sus disciplinas más generales y fundamentales. La ciencia no clásica y la técnica novísima demostraron muy evidentemente también la influencia inversa del desarrollo social sobre las fuerzas productivas y el *prius* de las fuerzas productivas en esta interacción.

La idea de la electrificación plasmada en 1920 en el plan GOELRO fue la síntesis de esta concepción y de todo lo que había dado hasta comienzos de nuestro siglo la ciencia

clásica, especialmente la electrodinámica clásica. Fue, a la vez, una peculiar síntesis de las comprobaciones objetivas y de la investigación de los procesos objetivos y los fines del hombre. Una síntesis de lo existente y lo debido, de la necesidad y la libertad, del conocimiento y la acción.

El plan GOELRO partía de un pronóstico objetivo: en las condiciones de la sucesiva plasmación técnica de la electrodinámica clásica, la electrotécnica permitirá transmitir grandes energías a distancias de centenares de kilómetros. El plan arrancaba precisamente del pronóstico, de las posibilidades no alcanzadas aún pero poseedoras de muy alta probabilidad. En la variante inicial del plan, las redes de centrales no se conectaban y no había aún los circuitos conectados aparecidos en el mapa del GOELRO. La posibilidad de transmisiones tan lejanas era o, quizá, parecía a la sazón problemática para los años próximos. Por indicación de Lenin, en el plan GOELRO fueron incluidas redes conectada (¡esto constituyó la idea fundamental del plan!) en vista d progreso inevitable de las transmisiones eléctricas.

¿Por qué era inevitable este progreso? ¿En qué se apoya ba la seguridad de que habían de ser posibles transmisiones más potentes? Esta seguridad se deducía del esquema funcional que existía ya a la sazón: generador – transformador elevador – línea de transmisión – transformador reductor – motor. Este esquema dimanaba directamente de la electrodinámica clásica, combinando los procesos de la inducción electromagnética y de la excitación del campo magnético con la corriente alterna, procesos que constituían la base de la electrodinámica y correspondían a las ecuaciones de Maxwell.

El esquema físico mencionado era el esquema ideal para los diseñadores que trataban de acercarse a las correlaciones teóricas en los generadores, transformadores, líneas de transmisión y motores eléctricos reales, prácticamente aplicables. La existencia de este esquema ideal conocido ya y –lo que es muy importante– *no sujeto a modificación alguna en el futuro previsible,* permitía formular con gran seguridad el

pronóstico sobre una dirección, inmutable durante decenios, del progreso técnico.

Era análoga la relación entre los ciclos ideales, clásicos, establecidos y constantes, y los pronósticos técnicos en otras ramas de producción.

Posteriormente, el trabajo de la Comisión del GOELRO pasó del pronóstico al plan. Si se construyen centrales y redes eléctricas de una potencia y longitud determinadas, se creará un sistema energético único, se elevará el pertrechamiento eléctrico y, por tanto, la productividad del trabajo en la industria y la agricultura; aumentarán muchas veces los flujos de cargas con ayuda de los ferrocarriles electrificados, crecerá la proporción de los procesos de gran consumo de electricidad en la tecnología industrial y se incrementará la importancia de las reservas fácilmente accesibles de energía y materia prima en el balance de los recursos aprovechables. Estos *fines* del plan predeterminaron el programa de inversiones en la construcción de nuevas centrales y redes eléctricas, vías férreas, minas y fábricas. Este programa, una vez realizado, creaba las *condiciones iniciales* para la subsiguiente evolución precisa y determinada de la producción.

Desde el punto de vista económico, tal evolución, basada principalmente en el acercamiento de la técnica a esquemas físicos ideales constantes, conducía a la elevación incesante de la productividad del trabajo, a la realización de la desigualdad que conocemos ya: $P' > O$.

La constancia de los esquemas físicos ideales creaba la dirección inmutable del progreso técnico, que permitía valerse de la extrapolación como principal método del pronóstico. Eran pronósticos de raciocinio; la razón, la transformación de los esquemas ideales, participaba en ellos; pero su intervención, que condujo a las ecuaciones de Maxwell, se quedaba atrás, mientras que una nueva intervención, que prometía, por ejemplo, la obtención inmediata de electricidad sin inducción electromagnética, era una perspectiva imprecisa y lejana.

Así pues, el método de pronóstico, adoptado por la Comisión GOELRO, consistía en determinar los esquemas físicos objetivos, las vías de su plasmación técnica, los resultados tecnoeconómicos de nuevos diseños de máquinas y el cambio de la estructura de producción debido a estos resultados.

Este método, tal vez, debe ser el principal método de pronóstico económico en el siglo atómico. Del pronóstico que indique la dinámica más probable de la producción, digamos, en el curso de los tres decenios próximos. Pero aquí hay una radical diferencia. Actualmente no existen esquemas físicos ideales que puedan darse con seguridad por estables e inmutables durante decenios. En la ciencia no clásica, la razón no cambia las líneas de raciocinio convariantes, las líneas de extrapolación, en los momentos críticos, muy distantes uno de otro, sino prácticamente sin interrupción. S algún esquema físico se conserva durante largo tiempo co mo canon objetivo de la creación técnica, no por eso deja de tener ante sí como *momento mori*, el fantasma de un esquema nuevo, que puede materializarse, dejar de ser fantasma y pretender al papel de canon objetivo de la técnica, que significa una dinámica muy distinta de los índices tecnoeconómicos y las proporciones intersectoriales en la economía nacional.

Esta materialización se ha producido ya con el esquema de fisión de núcleos bajo la acción de neutrones rápidos. Semejantes intervenciones de la razón reconstructora en los pronósticos del raciocinio pueden operarse a breve plazo en la electrónica cuántica. Están a la orden del día (cierto es que en perspectiva lejana y difícil de prever) el esquema de transmisión de energía en las condiciones de la superconductibilidad a temperaturas corrientes y el esquema de la reacción termonuclear controlable.

Son virajes revolucionarios. G. Thomson decía: "La ciencia aplicada conduce a la reforma, y la ciencia pura, a la revolución". Esto se refiere a los cambios de los ciclos prácticamente aplicables sobre la base de esquemas científicos

inmutables ("ciencia aplicada") y al cambio de estos esquemas mismos ("ciencia pura"). Estos cambios, en conjunto, se producen hoy día prácticamente sin cesar porque después de cada viraje comienza el proceso de asimilación de un principio nuevo. Por añadidura, los virajes mismos se operan o bien en una o bien en otra rama. Su efecto integral es la *aceleración* ininterrumpida del crecimiento de la productividad del trabajo, la realización de la fórmula $P''>O$. Pero ¿cómo puede determinarse el coeficiente de aceleración? ¿Cómo puede determinarse algo inmutable, constante, perteneciente al raciocinio en la actividad de la razón, que se reduce al cambio, a la no indentificabilidad?

Aquí hay algo relativamente inmutable: las correlaciones fundamentales de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica, que, en su base, pueden pretender durante largo tiempo al papel de principios de partida de la ciencia y son ciertos cánones objetivos de los nuevos esquemas físicos, pues tanto los reactores autorregeneradores como las reacciones termonucleares son etapas de acercamiento a la relación ideal $E\text{-}mc^2$. El cambio de semejantes ideales fundamentales conduciría a la tercera derivada temporal no igual a cero de la productividad del trabajo, a $P'''>O$. Pero la fórmula $E\text{-}mc^2$, lo mismo que otras bases fundamentales de la ciencia contemporánea, no determina el *ritmo* de aumento de la envergadura de la energía liberada en las reacciones nucleares ni otras transiciones de un esquema físico a otro.

Aquí existe otra dificultad muy sustancial. Al redactarse el plan GOELRO, se utilizaron evaluaciones más o menos intuitivas del futuro. Este método se había aplicado mucho antes de recibir el nombre de "délfico". La Comisión GOELRO se dirigía a sus miembros y a otros destacados especialistas que daban caracterizaciones cualitativas y, a veces, cuantitativas del desarrollo ulterior del transporte, la metalurgia, la extracción de combustible, etc. A mediados de la década del veinte (si no nos equivocamos, al redactarse las cifras de control para 1925 y 1926), este método se de-

nominó "método de evaluaciones periciales". Se aplicó también más tarde, en particular, a comienzos de los años treinta, al redactarse el plan general, y no sólo para formular las variantes de pronóstico, sino también para elegir la variante óptima, es decir, para la planificación misma. Uno de los episodios típicos de aquel entonces: en 1930, I. Alexándrov dictó al autor de estas líneas una lista de centrales eléctricas para los próximos diez o quince años, que coincide en medida considerable con la relación de las centrales más rentables construidas en los años treinta. El mismo I. Alexándrov tenía una gran seguridad intuitiva o semiintuitiva en el considerable desarrollo de las industrias de gran consumo de electricidad, lo que le permitió proyectar el colosal complejo de la ciudad de Zaporozhie y hacer el diseño de la Hidrocentral del Dniéper en la variante de una presa.

Mas ahora, semejantes evaluaciones intuitivas desempeñan un papel menos considerable. Como se ha dicho ya, los cambios de los esquemas físicos poseen una comunidad mayor que las innovaciones técnicas y, por eso, una capacidad mayor de penetrar en otras ramas, convirtiéndose en contenido de la información interramal. La intuición se apoya principalmente en la experiencia y los conocimientos en una rama determinada y no engloba la información –que penetra en ésta– sobre los nuevos esquemas físicos ideales, aplicables en varias ramas. De haber sido la reconstrucción de la producción en conjunto una función *lineal* de cambios tecnocientíficos, podríamos obtener el pronóstico general, sumando las evaluaciones periciales por ramas. Pero la reforma de la producción no es una función lineal; los cambios en las ramas no son sólo cambios técnicos, sino también tecnocientíficos, basados en nuevos datos científicos aplicables en un gran número de ramas; la información sobre estos datos migra de rama a rama, operándose una interacción de los cambios tecnocientíficos, indeterminable con la intuición ramal.

¿Cómo se puede calcular, no obstante, la intervención de

la razón en las cadenas de extrapolaciones del raciocinio? ¿Cómo se puede pronosticar cambios radicales provocados ya no por nuevos diseños, sino por nuevos esquemas funcionales, por nuevos cánones objetivos de la creación técnica? Existe una sola salida. Al redactar los planes de la economía nacional, confrontamos los pronósticos, correspondientes a distintas condiciones iniciales, para elegir la variante óptima. Pero la optimización no termina en la elección de la variante óptima, en la confección del plan. Por lo visto, debe ser escalonada y prácticamente ininterrumpida. En los torneos de ajedrez, cuando se aplaza la partida, el "segundante" del jugador ensaya variantes de cada jugada posible del contrincante. En la ciencia, el hombre hace preguntas a la naturaleza, y ésta las satisface con mayor o menor demora. No siempre puede preverse la respuesta. Quizá, le niegue el sentido a la pregunta planteada. Pero da la respuesta, lo mismo que, cuando se reanuda la partida de ajedrez, el adversario hace la jugada de respuesta. Pero hay que preparar los pronósticos, las previsiones de los cambios técnicos, tecnoeconómicos y estructurales que provocará la respuesta de la naturaleza. Se necesita un esquema físico nuevo, hecho por vía experimental. Estos pronósticos deben poner de manifiesto la influencia del nuevo esquema físico sobre el nivel, la velocidad de incremento y la aceleración del incremento de la productividad del trabajo. Entonces se podrá determinar con rapidez las condiciones iniciales, necesarias para la realización máxima del nuevo esquema físico, para el incremento máximo del índice fundamental $\Omega = f(P, P', P'')$.

ECONOMETRÍA DEL OPTIMISMO

La ciencia no clásica demostró meridianamente la naturaleza racionalista del conocimiento. Se convirtió en triunfo de la "perfección interna", del análisis lógico que liga cada descubrimiento experimental con los principios generales en grado máximo. Pero estos principios generales no son sólo

especulaciones lógicas. Sintetizan las observaciones y –lo que es especialmente importante– los experimentos, la recomposición activa de los procesos de la naturaleza, poseen "justificación externa" y son cuadros generales del Universo, sus reflejos. Reflejos no sólo del estado estático del mundo, sino también de su evolución. *Este* racionalismo es cuatridimensional, incluye la retrospección y el pronóstico. Por cuanto el conocimiento humano está vinculado con la enérgica actividad racional del hombre, el pronóstico se liga a los fines y, con suficiente correlación, pasa a ser pronóstico optimista.

El racionalismo siempre estuvo vinculado con las matemáticas. En el siglo XVII, las matemáticas resultaron una dirección del pensamiento racionalista que se unió a las ciencias naturales experimentales, pasando a ser una ciencia clásica, esto es, la síntesis del racionalismo que se apoya en el experimento y del experimento que revela la *ratio* del mundo.

La ciencia del siglo XVII no se limitaba ya a oponer de modo netamente lógico distintos objetos y acontecimientos, lo cual se observaba, por ejemplo, en la teoría del movimiento de Aristóteles, que distinguía sólo el "lugar natural" del cuerpo, donde éste reposa, y su estancia fuera del "lugar natural" del cual aspira a alejarse. En la ciencia del siglo XVII, el movimiento se convirtió en proceso ininterrumpido que se estudia de punto a punto y de instante a instante. Kepler decía: "Allí donde Aristóteles ve entre dos cosas una oposición directa privada de eslabones intermediantes, yo, considerando filosóficamente la geometría, encuentro una oposición llena de objetos intermedios, de modo que allí donde él usa el término "*otro*", yo uso dos terminos: "más" y "menos"[11].

En efecto, en oposición a la ciencia peripatética, la ciencia de la Edad Moderna emplea, en el plano general, con-

---

[11] J. Kepler. *Opera omnia*, t. I, Frankfurt a. M., 1858, p. 423.

juntos ininterrumpidos, cuando entre cada dos objetos se encuentran objetos intermedios y la diferencia entre estos dos objetos se expresa, ante todo, en la distancia, si se trata de las posiciones espaciales, y en las "distancias", si se trata de conjuntos más complicados.

La ciencia de la Edad Moderna agrupa los objetos, acontecimientos y fenómenos en conjuntos ordenados, donde un acontecimiento u objeto sigue lógicamente a otro, y las diferencias entre ellos parecen numeradas. Se establece una correspondencia exacta entre los conjuntos: al elemento de un conjunto corresponde el de otro (a la posición de la partícula en movimiento corresponde su velocidad, aceleración, etc.). Se introduce el concepto de espacio n-dimensional, donde el acontecimiento u objeto se determina por n coordenadas, el concepto de distancia, magnitud siempre positiva, que caracteriza dos objetos, y el concepto de métrica, que permite determinar de una u otra manera la distancia entre los objetos –puntos del espacio n-dimensional– según las diferencias de sus coordenadas. Así pues, la nueva representación sobre la *ratio* del mundo, que se forma de los movimientos continuos, halló su expresión adecuada en las matemáticas de las magnitudes variables, en el análisis infinitesimal, en la geometría analítica y la geometría diferencial y, en particular, en el concepto de métrica, determinación de las distancias según las coordenadas dadas.

Las matemáticas de las magnitudes variables era una expresión adecuada del cuadro del mundo, que se formó en los siglos XVII y XVIII, donde los movimientos de los cuerpos, incesantes en el plano general, por inercia o en virtud de las fuerzas, eran una explicación omnímoda del Universo. Eco de esta tendencia fue la fórmula de Kant: en toda ciencia hay tanto de científico cuanto de matemático. Esta fórmula parece próxima al papel actual de las matemáticas. Pero en efecto, la importancia actual de las matemáticas para la ciencia (y no sólo para la ciencia) encuentra pocas analogías con su importancia para las ciencias naturales mecánicas de los siglos XVII y XVIII.

En el siglo XIX, el esquema de los movimientos continuos de los cuerpos conservó su papel de esquema más sencillo, originario y, en este sentido, fundamental del Universo. Pero las complejas leyes de las formas superiores del movimiento no permitían ya reducir la explicación de los procesos de la naturaleza al descubrimiento de este esquema sencillo. Respectivamente, las matemáticas no podían pretender a una participación sustancial en la explicación de los procesos químicos y, menos aún, a papel sustancial en biología, ciencias sociales y aplicaciones de las ciencias mencionadas. Y esto no privó en absoluto a estas ciencias de su carácter científico.

Actualmente, en la ciencia no clásica la situación de las matemáticas y, a la vez, su contenido han cambiado radicalmente. Las matemáticas no son ya un esquema abstracto de las regularidades más simples, mecánicas, del Universo. No son, en general, un esquema abstracto en el sentido antiguo, prehegeliano. En matemáticas, lo sumamente abstracto pasa a ser con toda evidencia lo sumamente concreto. En la mecánica contemporánea, no clásica, en la concepción relativista y cuántica del movimiento del punto material, las matemáticas no encuentran ya un equivalente físico *simple*. El movimiento y el ser del punto material resultaron el problema más complejo vinculado con la estructura y el ser del Cosmos. Empezamos a ver en las matemáticas un reflejo abstracto de lo sumamente concreto, donde la estructura del Cosmos es inseparable de toda la estructura infinitamente compleja del ser. Respectivamente, las matemáticas penetran en todos los eslabones de esta estructura compleja, en campos que otrora parecían, por su complejidad, inaccesibles para las matemáticas. Comienza la época de una síntesis nueva, basada en las matemáticas aplicadas, de la ciencia. Y no sólo de la ciencia, sino también de toda la actividad práctica del hombre.

Pero con esto desaparecen los pretextos para la versión apriorística o convencionalista de la génesis de las matemáticas, que encuentran en sus principios más generales,

más fundamentales, algo no apriorístico, capaz de modificarse, que depende del experimento y está muy distante de la imagen de las tablas eternas del conocimiento. Los conceptos matemáticos, que pasaron a ser los conceptos más generales de la razón, convertido el racionalismo clásico en ciencia clásica, adquirieron un carácter de verdades ontológicas. La conocida definición de Russell –"Las matemáticas son una ciencia que no sabe lo que dice ni sabe si es verdad lo que dice" (esta independencia lógica de las matemáticas les permitió convertirse en poderoso instrumental de la ciencia contemporánea)– es actualmente un tanto arcaica: las matemáticas, comprendidos sus apartados más generales y fundamentales, hablan sobre el mundo y dicen algo que puede ser confirmado o rechazado y modificado por vía del conocimiento experimental del ser.

De ahí el papel que desempeña la intuición física en las matemáticas. A. Kolmogórov señaló que el matemático contemporáneo domina él mismo la esencia física del problema y trata de encontrar para éste un adecuado lenguaje matemático[12]. Semejante tendencia es cada vez más marcada y general, típica no sólo de la física matemática, sino también de los problemas fundamentales. "En el presente –dice P. Alexándrov– pueden advertirse los indicios de un nuevo viraje de este problema secular de las relaciones mutuas entre la teoría y la práctica del pensamiento matemático: han aparecido campos enteros de las matemáticas en los cuales es imposible delimitar con precisión los planteamientos matemático y físico del problema"[13].

Para la ciencia no clásica es característico que la "secularización" de los pilares lógicos, la eliminación de "la diferencia entre los planteamientos matemático y físico del problema" y la fusión de la deducción lógica con la intuición física, con el experimento físico, no tienen límites aprio-

[12] Véase *Exitos de las ciencias matemáticas*, ed. en ruso, 1951, vol. 6, N° 3.

[13] *Memorias científicas de la Universidad de Moscú*, 1974, 91, pág. 27.

rísticos, englobando incluso las bases de las matemáticas, que cambian bajo la influencia de la conjetura intuitiva sobre las posibles aplicaciones o bajo la influencia del experimento vinculado con la aplicación. Cambia de sentido la palabra misma "aplicación". La aplicación de las matemáticas es un proceso de transformación radical de los principios fundamentales de la ciencia, del estilo del pensamiento científico y, por eso, de la civilización.

En el ensayo consagrado a las perspectivas de la cibernética se habló de que la influencia transformadora de las matemáticas aplicadas sobre la civilización comprende la transformación del carácter del trabajo: la combinación de la matematización de la ciencia y de la gestión con el empleo de aparatos electrónicos permite cambiar el contenido del trabajo, aumentando sus potencias creadoras, reorganizadoras. Así pues, la matematización se encuentra en aquel cauce de la ciencia moderna que lleva al logro de la finalidad integral de la ciencia: la transformación del sujeto, del contenido y del objeto de trabajo. En esta parte del libro, la tercera, en la finalidad integral se incluyó otra tarea más: la transformación de la estructura del trabajo, de su orientación y de su distribución por ramas. Es la tarea propiamente económica. ¿Qué papel desempeñan las matemáticas aplicadas en su cumplimiento?

Es evidente que se trata de la econometría. No se debe pensar que la introducción de conceptos métricos, métodos de medición y analogías matemáticas en el pensamiento económico cambia la forma del análisis económico, sin transformar su contenido y conclusiones. Por supuesto, el cuchillo y el tenedor no cambian y, en todo caso, no sustituyen un bistec y es mejor comerlo sin tenedor y cuchillo que sustituirlo por estos utensilios. Pero el ejemplo de la garza y la zorra muestra que a veces la comida es inaccesible sin una forma que corresponda a su contenido. Hablando con propiedad, esto dimana de la poesía de Goethe dirigida a Albrecht von Haller ("la naturaleza no se compone de la cáscara y el grano"). En el caso de la econometría, el carácter

enjundioso de la forma matemática se desprende de las siguientes consideraciones que, por lo demás, se refieren a un aspecto del asunto: a la ligazón de la *econometría* enjundiosa de los *pronósticos* con la ciencia no clásica.

La inestabilidad de esta ciencia convierte, como sabemos ya, en fuente inmediata de los cambios económicos no sólo el empleo de esquemas físicos y su materialización técnica en los diseños de las máquinas, sino también estos esquemas mismos. Merced a su carácter relativamente general, los esquemas físicos transforman de una vez numerosas ramas de producción o migran libremente de una rama a otra. Por eso, en los pronósticos de cada rama e incluso de cada empresa importante figura obligatoriamente la información sobre la producción en conjunto.

Del carácter no lineal de los pronósticos económicos no clásicos y de la imposibilidad de obtener el pronóstico general sumando los particulares dimana la necesidad de introducir la información sobre la producción en conjunto en cada pronóstico particular. Es, ante todo, la información sobre la estructura de producción y su dinámica como resultado pronosticado de cada descubrimiento importante, que cambia los índices tecnoeconómicos y las proporciones interramales. Ahora bien, la *información estructural* es la *información métrica*. Debe incluir en los pronósticos los datos mensurables por principio sobre las proporciones interramales, y en los planes, las magnitudes absolutas de las inversiones en las ramas y los índices absolutos del efecto de estas inversiones. Por eso, la posibilidad de expresión métrica de los cambios económicos que se pronostican, su *econometrización* es premisa de su *realización*. Respectivamente, los pronósticos del desarrollo de la econometría misma (y puesto que ella debe usar algoritmos nuevos no obtenidos aún, también del desarrollo de las matemáticas en conjunto) es premisa necesaria o parte de los pronósticos económicos.

De los pronósticos optimistas. De los pronósticos que están vinculados con el fin planteado por la sociedad, fin que hace racional la actuación de la sociedad. Que poseen deter-

minados coeficientes de correlación con el fin, coeficientes que permitan elegir el pronóstico óptimo, más próximo al fin planteado. Pero en este caso, el fin mismo debe poseer cierto coeficiente métrico. Y, más aún, en este caso, el optimismo, la seguridad de que el fin planteado será alcanzado, posee coeficiente métrico, probabilidad de alcanzar el fin.

Hagamos una pequeña digresión de los problemas de la métrica de los pronósticos económicos. ¿Es posible, hablando en general, cuantificar una emoción (y el optimismo, cualquiera que sea el sentido gnoseológico, económico, econométrico y de pronóstico científico que le imprimamos, sigue siendo emoción)? ¿No hay aquí algo de Salieri? Con la particularidad de que al álgebra no se reduce incluso la música, sino lo que se expresa con la música y no puede expresarse de otra manera, por ejemplo, con palabras.

El Principito de Saint-Exupéry hace una observación muy interesante. Para un niño, los intereses de los adultos parecen extraños: ellos se interesan por las definiciones cuantitativas, necesitan saber cuántos años tiene uno, cuánto gana, y no les importa qué juegos prefiere uno. La ciencia, y no sólo la ciencia, requiere cierto acercamiento a los intereses "infantiles". De ello habló Einstein refiriéndose a la ciencia, y en otros aspectos, los evangelistas, que dicen por boca de su héroe: "...si no seréis como niños..." Pero los niños, en pos de Alicia en el país de las maravillas, no están en absoluto en contra del cálculo, pero este cálculo debe ser paradójico. Esta transición, precisamente, de las correlaciones matemáticas tradicionales a las paradójicas fue realizada en la teoría que Einstein consideraba resultado de los intereses "infantiles" (decía que llegó a la teoría de la relatividad porque conservó el interés infantil por los problemas fundamentales hasta la edad en que podía hacer algo para su solución).

La base de la teoría general de la relatividad es la transición de las correlaciones euclidianas tradicionales a las correlaciones no-euclidianas paradójicas, considerada como transición física, el cambio de la métrica y su carácter no-

euclidiano identificado con el campo gravitacional. Esta transición no era diluir la música en álgebra, sino más bien transformar el álgebra en música, por supuesto, en un sentido algo figurado, análogo a la "música de esferas" de Kepler.

El contenido emocional del optimismo es inseparable de su expresión métrica. El sentimiento de seguridad en la realización futura del fin es imposible sin el cálculo cuantitativo y, puesto que se trata de la estructura de producción, sin métrica.

Pero aquí nos espera la siguiente dificultad. Por lo visto, la métrica, o sea, todos los métodos de determinación de distancias según la diferencia de coordenadas, puede introducirse fácilmente si se trata de acontecimientos imaginables en forma de puntos de un espacio abstracto n-dimensional.

El lector se acordará que en el capítulo *"Sé cómo"* y *"sé lónde"* fueron introducidos ya el espacio n-dimensional de las estructuras económicas y el espacio $(n+1)$-dimensional de la dinámica de estas estructuras. No obstante, procede recordarlos. Si se trata, por ejemplo, de cincuenta ramas $(n=50)$, el punto correspondiente a la estructura dada es el punto del espacio 50-dimensional de las estructuras, determinado por 50 coordenadas, cada una de las cuales mide, por ejemplo, las inversiones en una rama o la producción de la rama. El paso de una estructura a otra se mide por el vector que une estos dos puntos. Los cambios estructurales, originados por los descubrimientos científicos y técnicos, es el principal efecto económico que se debe medir para conocer qué dinámica de la estructura de producción es óptima para alcanzar el fin, para que la productividad del trabajo y sus derivadas –la velocidad y la aceleración de su nivel– sean, en conjunto, máximas. De semejantes vectores se forma la curva de la dinámica de la estructura (no ya en el espacio 50-dimensional ni, en general, n-dimensional, sino en el espacio $(n+1)$-dimensional: además de las n coordenadas estructurales introducimos $(n+1)$ dimensión, el tiempo). Esta curva –línea universal de la estructura– debe dar el mayor valor del índice fundamental $\Omega = f(P, P', P'')$.

La dirección sucesiva de esta curva puede preverse, si se supone que la curvatura de la línea universal queda sin cambiar. Y si cambia incluso, si aparecen correlaciones distintas entre las velocidades de algunas ramas, nuevos balances dinámicos, puede determinarse la encorvación resultante de la línea universal, preverse la evolución posterior de la estructura. Pero esta posibilidad se mantiene cuando las modificaciones del ritmo de distintas ramas se deben a descubrimientos técnicos que hayan conducido a una ampliación acelerada de una u otra rama. Llamamos los pronósticos de tal ampliación pronósticos del raciocinio. ¿Y los pronósticos de la razón? En estos pronósticos más radicales cambia la dependencia misma de la dinámica económica respecto de los incrementos de las coordenadas, de las modificaciones de la estructura. Cambia la fórmula que vincula cada incremento infinitamente pequeño del vector en el $(n+1)$ espacio con los incrementos infinitamente pequeños de las coordenadas. Este cambio de la métrica no puede representarse ya como encorvación de la línea universal en el $(n+1)$ espacio, sino como encorvación de ese espacio mismo.

Aquí se necesitan algunas aclaraciones. Es mejor exponerlas en forma de analogías físico-económicas. A propósito, si están escritas ya las palabras "analogías físico-económicas", no está de más decir algunas palabras sobre su admisibilidad.

Ellas existían también en la economía política clásica. En el siglo XVIII, introducían en la teoría económica, a veces en forma disimulada, pero más a menudo en forma manifiesta, conceptos de la física clásica: fuerza, equilibrio, impulso. Actualmente, semejantes aproximaciones semánticas incluyen los conceptos no clásicos de indeterminación de las variables y otros, comprendida la encorvación del espacio.

Imaginémonos el desplazamiento de la partícula en un espacio con la métrica euclidiana alterada, en un espacio no-euclidiano, o sea, encorvado. Queremos separar la influencia de la curvatura del espacio sobre el desplazamiento de la partícula y estudiar la dependencia de este desplazamiento

respecto de algunos campos que conocemos, por ejemplo, la dependencia del desplazamiento de la partícula cargada de electricidad cerca de una carga potente. Para eso tomamos la derivada completa, que determina el cambio del estado de movimiento de la partícula en el punto dado (por ejemplo, la aceleración de la partícula) y descontamos de ella la derivada que muestra cómo ha cambiado la posición de la partícula bajo la influencia de la curvatura del espacio. Esta diferencia se llama derivada convariante y constituye la medida del cambio del estado de movimiento que no depende de la curvatura del espacio.

En la teoría general de la relatividad, el campo gravitacional se identifica con la encorvación del espacio (del espacio-tiempo cuatridimensional). El cambio de sentido del vector, producido por esta encorvación, no es un cambio en el *espacio*, sino un cambio *junto con el espacio*. Esto es posible porque el campo gravitacional influye uniformemente sobre todos los cuerpos de modo que, al parecer, cambia no la conducta de los cuerpos en el espacio, sino las propiedades del espacio mismo. El campo gravitacional diríase rebasa el marco de lo que ocurre en el espacio dado. Ahora se puede utilizar para el espacio dado la derivada covariante e investigar las correlaciones covariantes entre las influencias sobre el cuerpo y su conducta.

De modo análogo podemos enfocar los cambios de la estructura económica que no alteran los balances dinámicos covariantes (que, por tanto, admiten la extrapolación dinámica), considerando el efecto de los descubrimientos tecnocientíficos más radicales no como cambio en el espacio, sino como cambio junto con el espacio, como cambio del espacio mismo. Como hemos visto, el efecto de tales descubrimientos es universal, dejándose sentir *directamente* en todas las ramas. Esto permite, precisamente, advertir la analogía entre el campo de los cambios estructurales más radicales en la producción (el origen de este campo son las ramas no clásicas) y el campo gravitacional. Volvamos al susodicho espacio n-dimensional de las estructuras económicas.

En este espacio, el movimiento es la transición de una estructura a otra. El cambio de sentido de semejante movimiento puede ser resultado de la aceleración de una u otra rama. Con estas aceleraciones locales nos encontramos al tratarse del progreso técnico, de los descubrimientos técnicos basados en los esquemas físicos inmutables. La situación se complica en la producción no clásica por su base, donde el origen de las modificaciones son los cambios radicales de los esquemas físicos ideales. En este caso no se puede ya determinar la dinámica resultante de la estructura con tanta sencillez como en el caso de las aceleraciones particulares, sectoriales, producidas por los descubrimientos técnicos. Los descubrimientos científicos, poseyendo una gran capacidad de penetración, provocan una resonancia mucho más allá de los marcos de la rama en que se hayan materializado constructiva o tecnológicamente. Con semejante resonancia, el efecto de estos descubrimientos no se extingue, sino que, por el contrario, puede crecer. En todo caso, aquí, el cambio resultante de la dinámica estructural depende ya de manera distinta de lo que se está operando en ramas aisladas. Cambia la métrica, cambia la dependencia de la longitud resultante del vector Δx en el espacio $(n+1)$-dimensional respecto de los incrementos de sus coordenadas Δx_1, Δx_2, $\cdots$ Δx_n. En otros términos, la métrica del $(n+1)$ espacio cambia, adquiriendo curvatura.

Esta representación sobre el efecto de la ciencia no clásica requiere una serie de nuevas construcciones econométricas. Para vincular el efecto de la ciencia no clásica con el encorvamiento del espacio de las estructuras, y el efecto de los descubrimientos técnicos sobre una base científica relativamente inmutable con las derivadas covariantes, se necesita una determinación sistemática y relativamente rigurosa de los equivalentes de una serie de conceptos de la geometría diferencial, en particular, del concepto de coherencia. Hasta ahora nos hemos limitado a la analogía entre el carácter universal del campo gravitacional, base física de su semejanza con la curvatura del continuo espacial-temporal, y el ca-

rácter universal de los cambios fundamentales en la producción, relacionados con la migración interramal de los esquemas físicos ideales. Sin tocar aquí las construcciones econométricas necesarias para argumentar y realizar semejante analogía, anotemos sólo que esta última abre el camino al empleo de los pronósticos de extrapolación en el contexto del cambio radical de los balances dinámicos. Introducimos en la extrapolación coeficientes que por su naturaleza no tienen carácter de extrapolación y que corresponden a transformaciones más generales y radicales de la estructura de producción. No son, ni mucho menos, coeficientes de corrección. Estos últimos corrigen la curva en el espacio dado y la dinámica de los índices, siendo la transformación radical factor común. Pero aquí se trata de coeficientes fundamentales que definen la curvatura del espacio de las estructuras.

¿Cuál es el nexo de la concepción del espacio no-euclidiano de las estructuras económicas y la diferenciación covariante con la concepción del valor dinámico? ¿Cómo se expresa en el espacio de las estructuras la realización del valor dinámico, el cambio del balance dinámico bajo la influencia de la información tecnocientífica?

La base general (correspondiente al concepto de producción en general) del valor es la distribución del trabajo. Esto se expresa precisamente en el espacio de las estructuras. La realización del valor y la migración del trabajo son un cambio en el espacio de las estructuras. Este cambio puede estar vinculado con el equilibrio de la producción estático, cuasiestático o dinámico, que se pronóstica en extrapolaciones. Se puede considerarlo como movimiento en el espacio n-dimensional dado (con la curvatura dada) de las estructuras. El cambio que realiza el valor dinámico, el cambio originado por la información radicalmente reconstructora que migra de una rama a otra, puede considerarse como resultado del encorvamiento del espacio n-dimensional de las estructuras.

A este respecto recordemos algunos puntos aclarados ya en esta última parte del presente libro. A su comienzo se

dijo que la teoría de la dinámica económica necesita un método axiomático. Pues bien, nos elevamos a las definiciones más generales, a la producción en general, para ver que toda formación necesita una estructura de producción que corresponda al consumo. Luego pasamos a las formas concretas, históricamente condicionadas, de este rasgo común de la producción, a "un rico conjunto, con numerosas definiciones y relaciones". A medida que se van desarrollando las fuerzas productivas, las alteraciones del equilibrio adquieren, primero, el carácter de desviaciones individuales, reguladas por la ley del valor, que conduce la producción al equilibrio macroscópico; segundo, el carácter de desviaciones macroscópicas de los precios de producción respecto del valor y, por último, el carácter del cambio prácticamente ininterrumpido de la estructura de producción. La reglamentación de la economía no se reduce ya a restablecer el equilibrio alterado por las diferencias individuales o macroscópicas en la composición orgánica de los fondos. La fuerza motriz que da a la producción esta dinámica total es el paso no sólo a nuevos diseños y procedimientos, sino también a nuevos esquemas ideales. La información sobre semejantes cambios influye en virtud de su comunidad en una serie de ramas.

Las fuentes de semejante influencia son las ramas rectoras (rectoras en el sentido de que *aceleran* el progreso técnico): las ramas no clásicas de producción y, en primer lugar, la energética atómica y la electrónica cuántica.

Aquí llegamos a un punto en que debe apuntar ya, aunque en forma muy preliminar, la posibilidad de pasar del sistema axiomático de categorías a métodos más concretos de pronóstico. El esquema de métodos concretos no forma parte de la axiomática del pronóstico; pero en las definiciones axiomáticas más generales debe apuntar la posibilidad de pasar a los pronósticos concretos, la posibilidad de elaboración econométrica de las categorías dinámicas de la economía, la posibilidad de usar conceptos y métodos matemáticos, correspondientes a la dualidad y la combinación de las

transformaciones radicales (que garantizan $P'' > O$), ligadas al progreso científico, y de recurrir a transformaciones menos radicales vinculadas con la nueva materialización ingenieril de los mismos esquemas físicos ideales. Las primeras influyen en toda la producción, mientras que las segundas influyen sobre una rama determinada. No está excluido que el instrumental matemático que interpreta esta delimitación sea la diferenciación covariante y la concepción de los espacios n-dimensionales no-euclidianos, encorvados, en conjunto. En este caso se sugiere el siguiente esquema del pronóstico.

El método de partida es la extrapolación dinámica. Partimos del pronóstico demográfico y suponemos que la magnitud invariante será la segunda derivada temporal de la productividad del trabajo. Esto permite obtener gráficos del crecimiento de la renta nacional y otros indices totales. Después de eso se extrapolan los balances dinámicos, las relaciones entre las ramas, tomando en consideración las relaciones entre los círculos concéntricos clásico y no clásico. Las curvas extrapoladas se corrigen con ayuda de coeficientes de corrección, que se obtienen partiendo de la optimización del consumo. Luego, como resultado de evaluaciones periciales, se introducen coeficientes de corrección adicionales. Otra serie más de dichos coeficientes se introduce para coordinar el pronóstico con el criterio de la rentabilidad –en crecimiento– de la producción. En esto termina la primera fase de confección del pronóstico, en la cual se opera con derivadas covariantes.

Comienza la segunda fase. El punto de partida es el pronóstico científico hecho con ayuda de criterios gnoseológicos. En la ciencia se estudian sin cesar los datos experimentales acumulados y se determinan las posibles vías del pensamiento teórico que puedan imprimirles "perfección interna". Para el pronóstico económico se necesita un extracto de la literatura científica, que tenga un componente de pronóstico especialmente concreto y fundamentado. Este extracto debe ser sometido al peritaje individual y colectivo y compren-

der, en fin de cuentas, ciertas indicaciones hipotéticas para nuevos esquemas y ciclos físicos, químicos, biofísicos y bioquímicos, que puedan transformar radicalmente la producción y su estructura. Luego pueden comenzar las investigaciones especiales de género físico-económico y, en general, en el campo de las ciencias naturales y la economía. El investigador pasa de los esquemas hipotéticos físicos y otros a su realización técnica más hipotética aún y a los cálculos económicos todavía más hipotéticos de influencia de esta realización sobre la estructura, la distribución, los gastos relativos y el valor. El resultado de estas investigaciones son los coeficientes de transformación de los cálculos y de las confrontaciones tecnoeconómicas, así como de la transformación de las curvas del cambio de la estructura y de los agregados de producción. Si los resultados de la primera fase, la fase "covariante" del pronóstico están representados en forma de curvas en el espacio $(n+1)$-dimensional, los coeficientes de la transformación de estas curvas son análogos a los componentes del tensor métrico fundamental y al tensor –compuesto de las derivadas de aquél– de la curvatura del espacio $(n+1)$-dimensional de la dinámica de la estructura. En los sectores de este espacio, donde se deja sentir la influencia de acontecimientos tecnocientíficos tales como el amplio uso de reactores autorregeneradores, la aparición de lasers industriales universales o la nueva generación de ordenadores para su utilización industrial universal, el espacio $(n+1)$-dimensional, correspondiente al pronóstico económico, pasa a ser no-euclidiano.

Los conceptos de curvatura del espacio y de derivada covariante son típicos de la econometría del optimismo y de toda la filosofía optimista del siglo atómico. Permiten incorporar a los pronósticos económicos el efecto de la ciencia fundamental. Este efecto radica en un dinamismo sin precedente y en cambios radicales que se producen en la energética, la tecnología, el carácter del trabajo y las condiciones ecológicas. Sin embargo, esto no es más que una ilustración y ejemplo particular de una tendencia muy general, de una

conexión muy general de las matemáticas aplicadas contemporáneas con la cosmovisión optimista.

Más arriba se ha dicho ya que la matematización de los cálculos económicos crea el elemento de certidumbre, sin el cual el sentir optimista no puede convertirse en cálculo científico, y éste no puede devenir buen humor, expresión y condición de la felicidad del hombre.

En las matemáticas modernas ha adquirido carácter marcado una tendencia muy esencial para los destinos de la civilización. No es una tendencia nueva, existe desde hace mucho ya, pero actualmente se ha acentuado incomparablemente. Se puede llamarla "estructuralismo", "integralismo" o de otra manera; esto no cambia el quid del asunto, aunque revela algunos de sus aspectos y matices. Ella consiste en que, al resolver varios problemas físicos y económicos importantes, probablemente los más importantes, no se va sólo, y hasta no tanto de un punto a otro, de un instante a otro, de un acontecimiento local al contiguo, cuanto se aspira a definir todo el camino o todo el conjunto de acontecimientos enlazados con el acontecimiento dado.

Tropezamos con esta tendencia en los dominios más diversos. A partir de los años cuarenta, Feynman y Wheeler exponían la mecánica cuántica operando no con las posiciones de la partícula en el momento dado y en el punto espacial dado, sino con las características integrales de las trayectorias enteras. Pero el instrumental matemático de la mecánica cuántica comprendía también anteriormente las representaciones sobre los pasos de una función a otra y la evaluación no de los valores locales, sino de las funciones de conjunto. Una tendencia muy general era el análisis de las estructuras, que no atribuye unas u otras características a los individuos por separado, sino a las estructuras de conjunto.

En matemáticas se han desarrollado métodos muy eficaces de cálculo de variaciones, que permiten confrontar las líneas universales de las partículas y las características integrales y encontrar las óptimas. Se ha desarrollado la teoría

de las ecuaciones integrales y las teorías de los operadores y sobre los reflejos de unas funciones en otras. En cuanto a las concepciones *matemáticas*, nuestra época se caracteriza, por lo visto, principalmente por el desarrollo del análisis funcional que unifica, desde un punto de vista único, los distintos métodos del conocimiento integral del ser. La idea *física* más típica es la relación entre el individuo físico, o sea, la partícula elemental, y el Universo, la representación sobre la partícula como médula de interacciones que imperan en el Universo y, a la vez, la representación sobre el Universo, si no como una partícula, en todo caso como un objeto que posee determinadas características integrales.

En la evolución de la econometría, semejante tendencia integral o estructural se enlaza evidentemente con la filosofía del optimismo. En este caso se observa algo análogo a la ley biogenética: la ontogenia de la econometría repite la filogenia de las matemáticas en conjunto. Inicialmente se encontraban en primer plano las ecuaciones diferenciales y, más tarde, las ecuaciones integrales, los métodos de cálculo de variaciones y de análisis tensorial y funcional.

Tomemos una curva que representa cierto proceso y determinemos con ayuda del cálculo de variaciones la característica máxima o mínima de la curva; consideremos la estructura caracterizando las correlaciones específicas para ella de elementos; tratemos el vector que tiene uno u otro sentido, una u otra combinación de los componentes: en todos los casos el pensamiento matemático se asocia naturalmente con la forma óptima de la curva, con la estructura óptima, con el sentido óptimo. En la econometría, en la investigación matemática de la actividad *racional*, precisamente, el concepto de valor óptimo no se asocia ya a los conceptos cuasirracionales de "función objetiva", etc., sino al fin real, a lo que distingue al hombre del resto de la naturaleza. En la econometría, precisamente, el concepto de valor óptimo liga lógicamente con el concepto de optimismo como coeficiente de correlación entre el proceso objetivo y el fin.

¿En qué consiste, pues, la ligazón entre el papel actual del análisis funcional en la econometría y la filosofía del optimismo?

Ante todo, en el paso del pronóstico al plan o, más bien, en la transformación del pronóstico en cierto elemento de la planificación. En la confrontación de distintas variantes de pronóstico y la elección de la variante óptima. En la transformación respectiva de los problemas de variaciones en principales problemas econométricos.

El criterio de elección de la variante óptima es el optimismo máximo de ésta, el valor máximo del coeficiente de correlación entre el pronóstico y la finalidad integral de la producción y de su transformación.

Esta finalidad es dinámica, no consiste en un determinado estado local de producción. El acercamiento a tal finalidad no se reduce a alcanzar cierto nivel de producción y de consumo, sino que comprende una velocidad y aceleración determinadas de este nivel, una dinámica determinada, una línea universal determinada de producción.

Así pues, al confrontarse las variantes de pronóstico de modo cuantitativo, métrico, se confrontan magnitudes numéricas correspondientes a distintas curvas, a distintas funciones. En otros términos, se confrontan las funcionales de las "líneas universales". La proximidad fonética y semántica de los conceptos "optimismo" y "optimización" adquiere un sentido métrico: el primer concepto adquiere equivalente métrico en el índice de la correlación —propio de cada variante— entre el pronóstico y el fin; el segundo, en el valor máximo de este índice. Semejante índice es el índice económico fundamental, dependiente del nivel de velocidad y aceleración de la productividad del trabajo.

Las observaciones expuestas se refieren a la econometría del pronóstico económico optimista. Y del pronóstico social optimista. Porque los cambios radicales de la dinámica del progreso, que dimanan de la aplicación universal de la ciencia no clásica, realizan ideales incompatibles con la explotación del hombre por el hombre y el carácter espontáneo

de las leyes sociales. La liberación del trabajo y su transformación en actividad verdaderamente creadora, reconstructora, excluye la división de la sociedad en clases. La reconstrucción radical de la estructura del trabajo y de la estructura de producción, que asegura no sólo el nivel más alto de productividad del trabajo, sino también su aceleración incesante, no puede efectuarse más que en la producción planificada.

La síntesis actual de las dos tendencias –la corriente intensificada que lleva de las ciencias naturales a la economía, por una parte, y la movilidad, dinamismo y plasticidad de los principios fundamentales de la ciencia, por la otra– se patentiza meridianamente en el papel que las matemáticas desempeñan en la revolución tecnocientífica de mediados y la segunda mitad del siglo XX. Al comienzo del capítulo se ha hablado ya de este papel, y las consideraciones posteriores sobre la econometría no son más que ilustración particular de una tendencia más general. A primera vista, las matemáticas parecen una fuente distinta de las transformaciones tecnocientíficas y económicas que las ciencias naturales. Su papel expresa la movilidad típica de nuestro siglo de los principios generales, comprendidos los lógico-matemáticos, de la ciencia, movilidad que realiza concepciones filosóficas expuestas mucho antes. Pero, como se ha dicho ya, las matemáticas modernas, en sus virajes lógicos más fundamentales, adquieren valor ontológico, convirtiéndose en ciencia sobre el ser e imprimiendo un carácter físico enjundioso a sus conceptos, comprendidos los más generales, los conceptos metamatemáticos.

A la luz de semejante tendencia, algunas direcciones del pensamiento científico contemporáneo, que al comienzo parecían independientes e incluso recíprocamente opuestas, están unidas, enlazadas lógica e históricamente y, quizás, incluso son idénticas. Entre ellas figura la teoría general de los sistemas. Esta teoría apareció en forma de oposición al modo de explicar las cosas contestando sólo a la pregunta "¿de qué se compone?", explicación denominada a veces

"elementarismo" o "concepción de la elementalidad". A las búsquedas de los ladrillos elementales de los que se compone el ser, a las búsquedas que pretendían desempeñar el papel de método científico universal, se opuso la idea de sistema, de integridad, de organicismo, que se apoyaba en conceptos biológicos. "La ciencia sobre la integridad y el organicismo por excelencia, la biología, está llamada a desempeñar en nuestra cosmovisión un papel que no ha desempeñado nunca"[14], decía en 1932 L. Bertalanffy.

Pero la teoría general de los sistemas no era repetición o continuación simple de la filosofía del Todo, que venía desarrollándose durante siglos. No era tampoco una línea de defensa para proteger la especificidad del organismo biológico y la integridad frente al mecanicismo que les amenazaba. Por el contrario, era una línea de ataque, pretendía a englobar la naturaleza inorgánica, territorio tradicional del mecanicismo. Lo testimonia, precisamente, la palabra "general" en la denominación de la nueva tendencia científica. Pero siguiendo este camino, la teoría general de los sistemas debía acercarse al análisis estructural del mundo, y a las categorías métricas.

La correlación entre lo íntegro y lo individual, local, adquirió una interpretación muy general y prometedora en las matemáticas. La idea de la integridad era presunción ontológica del análisis funcional que estudia las curvas correspondientes a unos u otros tipos de funciones, en otros términos, considera los objetos integrales, determinando sus magnitudes características, sus funcionales. La demostración más patente de los equivalentes físicos del análisis funcional, que le comunican valor ontológico, son las representaciones "provisionales", que aún distan mucho de ser categóricas, sobre las partículas elementales, sobre su existencia misma como resultado de las interacciones que se extienden a grandes sistemas, incluso a la Metagalaxia. No sólo en sus métodos matemáticos, sino también en las especulaciones

[14] L. V. Bertalanffy. *Theoretische Biologie*, Bd. I. Berlin, 1932, S. 5.

propiamente ontológicas, la física moderna renunció ya a la concepción de elementalidad (de eso se habló en el capítulo *De rerum natura*). En cuanto al pensamiento económico, éste renunció, en la teoría de Marx, a la concepción de elementalidad, de atomística social, renunció a las robinsonadas. La doctrina del fetichismo mercantil y del trabajo abstracto muestra en forma muy patente la ligazón existente entre la naturaleza social de las categorías económicas y las definiciones métricas integrales. El trabajo abstracto es el trabajo homogéneo, distribuido y, *por eso*, cuantitativamente determinado. Su determinación cuantitativa expresa la distribución de los esfuerzos laborales de la sociedad: la estructura de producción. El valor puede determinarse muy poco por las propiedades individuales de la mercancía, lo mismo que la masa, la energía y la carga de la partícula, por su propia naturaleza, preterizándose el macrocosmos, preterizándose los campos de fuerzas. Actualmente, en economía, la ligazón entre las determinaciones cuantitativas y la representación en sistema, integral, sobre la producción deviene cada día más evidente y esencial. Detengámonos sólo en un problema actual: la correlación entre el carácter métrico de las categorías económicas y las tareas ecológicas de producción.

Shigetsu Tsury utilizó la precitada observación del Príncipito sobre el carácter cuantitativo de los intereses de los adultos como epígrafe del informe, que mencionamos ya, *En vez del índice "producto nacional bruto"*. La idea principal de este informe es el carácter no métrico de los criterios actuales de la producción y, en primer lugar, de los criterios ecológicos. Como vimos, Tsury menciona una serie de hechos y razonamientos referentes al efecto ecológico negativo de la producción en "el sistema que se caracteriza por el afán individual de la ganancia máxima que, por lo visto, es cada vez menos capaz de cumplir la tarea de utilizar del mejor modo lo que da la naturaleza".

Para nosotros es indudable que en semejante sistema, el problema ecológico no puede ser resuelto de modo conse-

cuente, armónico y eficiente. Puede resolverse en una producción planificada y socializada. Pero en este caso aumenta la importancia de las categorías métricas. Los criterios ecológicos no se reducen a la pregunta "¿cuánto?" (según Saint-Exupéry, "¿cuánto gana?"), sino más bien se refieren a la pregunta de "¿en qué grado son equilibradas, próximas las correlaciones dadas, la estructura dada, a las óptimas?" Pero esta pregunta integral, estructural, en sistema, exige una respuesta métrica. Una respuesta métrica, pero más compleja. La dinámica óptima de la estructura se expresa con una curva en el espacio *n*-dimensional de las estructuras, con la "línea universal" poseedora de la funcional máxima que mide la realización de los fines de la producción, comprendidos los fines ecológicos. Se puede mostrar un estrecho nexo fundamental entre los criterios nuevos, ecológicos, de la producción y los criterios econométricos. El nexo del cálculo planetario-secular de los recursos y valores ecológicos con el carácter métrico inherente al pensamiento económico. Es precisamente el nexo, y no la contraposición. La ecología no puede considerarse como criterio no métrico por principio, su métrica existe, pero es una métrica no tradicional. Esta métrica promueve a primer plano las correlaciones diferenciales que miden la velocidad y la aceleración del progreso tecnocientífico y tecnoeconómico. Pero la determinación de las correlaciones diferenciales podría denominarse con el muy arcaico nombre de busca de tangentes. En todo caso, este nombre, por supuesto que en sentido muy figurado, caracteriza el estilo del pensamiento económico contemporáneo, que determina las situaciónes de "aquí-ahora" por su efecto lejano. Cuanto mayor es la atención que presta el pensamiento económico a los problemas dinámicos y los índices diferenciales, tanto más atentamente estudia el futuro, resultados lejanos de las acciones económicas y tecnocientíficas actuales. Entre dichos resultados figuran en medida cada vez mayor los resultados ecológicos. Y tanto más atentamente investiga los resultados integrales y los índices integrales de la dinámica económica.

¿Cuál es la relación entre tales índices integrales y el optimismo?

Una observación previa sobre el concepto de ser en la ciencia no clásica contemporánea. Este concepto, al tratarse del individuo, está ligado a la inclusión del individuo en el todo, a sus interacciones con el todo. Por eso puede poseer mayor o menor intensidad, puede ser mayor o menor en dependencia de la intensidad de las interacciones, de la inclusión en un sistema de mayor o menor estructura macroscópica, mayor o menor ordenamiento, o sea, la entropía negativa. Pero aquí es necesario hacer el siguiente paso: la transición del concepto intensivo al métrico, a la intensidad mensurable del ser. Ahora puede hablarse de estructura métrica óptima, de unas u otras diferencias macroscópicas, de las condiciones iniciales que prometen una evolución subsiguiente imaginable de antemano del sistema; puede hablarse de la funcional que caracteriza este sistema. El carácter métrico de la estructura de partida y la posibilidad de medir su resultado, su efecto, su realización en la dinámica, en el futuro, sirve precisamente de base del optimismo contemporáneo.

En efecto, el optimismo contemporáneo es la seguridad de que los procesos objetivos hacen realidad el fin planteado por el hombre. La seguridad se apoya en que los procesos objetivos están determinados con una u otra precisión por las condiciones iniciales preparadas de antemano mediante la actividad racional del hombre, se apoya en la penetración racional de esta actividad en un campo nuevo y en la creación en este campo de una noozona: reserva primaria de la entropía negativa. La actividad racional consiste en determinar para cada estructura las condiciones iniciales de una variante –correspondiente a ella– de la evolución futura, en determinar la funcional que corresponda a esta variante y en elegir la estructura inicial óptima a la cual corresponde, en el pronóstico, la funcional objetiva máxima.

Hemos sustituido por conceptos más generales los conceptos económicos y econométricos –que conocemos ya– del

índice económico fundamental $\Omega = f(P, P', P'')$y de la estructura de partida –distribución de los medios entre las ramas de producción y de ciencia–, para mostrar las bases métricas más generales del optimismo contemporáneo, las bases de la actividad planificadora del hombre. Queríamos mostrar el nexo fundamental del optimismo con la métrica y, en última instancia, con el estilo integral-diferencial contemporáneo del pensamiento científico, con la incorporación del individuo a sistemas cada vez más grandes, inclusión que no suprime la individualidad y que transforma tanto al individuo como al sistema. Además de otros procesos que determinan el curso de la revolución tecnocientífica, la "corriente" de las ciencias naturales y de sus procesos generalizadores conduce a la realización de los fines de la ciencia, a la realización de los pronósticos optimistas, a la transformación racional del hombre, del carácter de su trabajo y del medio ecológico.

INDICE

I

OPTIMISMO GNOSEOLOGICO

¡Cognoscemus! 3
Optimismo, ser, movimiento 26
Condiciones iniciales 37
Lo existente y lo debido 42
Optimismo e inmortalidad 55
Trabajo y libertad 63
El problema de la vejez 69

II

LA CIENCIA EN EL AÑO 2000

¿Por qué en el año 2000? 77
Siglo de Einstein 100
El átomo 122
Electrónica cuántica 141
Biología molecular 154
La cibernética 172
"Sé cómo" y "sé dónde" 194
De rerum natura 217
La física de altas energías 251
El Cosmos 261
La civilización postatómica 270

III

CONCEPCION ECONOMICA DEL OPTIMISMO

Fines integrales de la ciencia 293
La ciencia y la dinámica económica 311
Información interramal 330
Pronósticos del raciocinio y pronósticos de la razón . . . 340
Econometría del optimismo 356

AL LECTOR

La Editorial le quedará muy reconocida si le comunica usted su opinión acerca del libro que le ofrecemos, así como de su traducción, presentación e impresión. Le agradeceremos también cualquier otra sugerencia.

Nuestra dirección:

Editorial Progreso
Zúbovski bulvar, 21
Moscú, URSS